MAX

3 A

NOVA

HAVO

Natuurkunde



NAAM EN KLAS:

MALMBERG



3 HAVO Deel A

Natuurkunde

Auteurs
Louis Lenders
Sander Michon
François Molin
Rein Tromp

Eindredactie
Claud Biemans

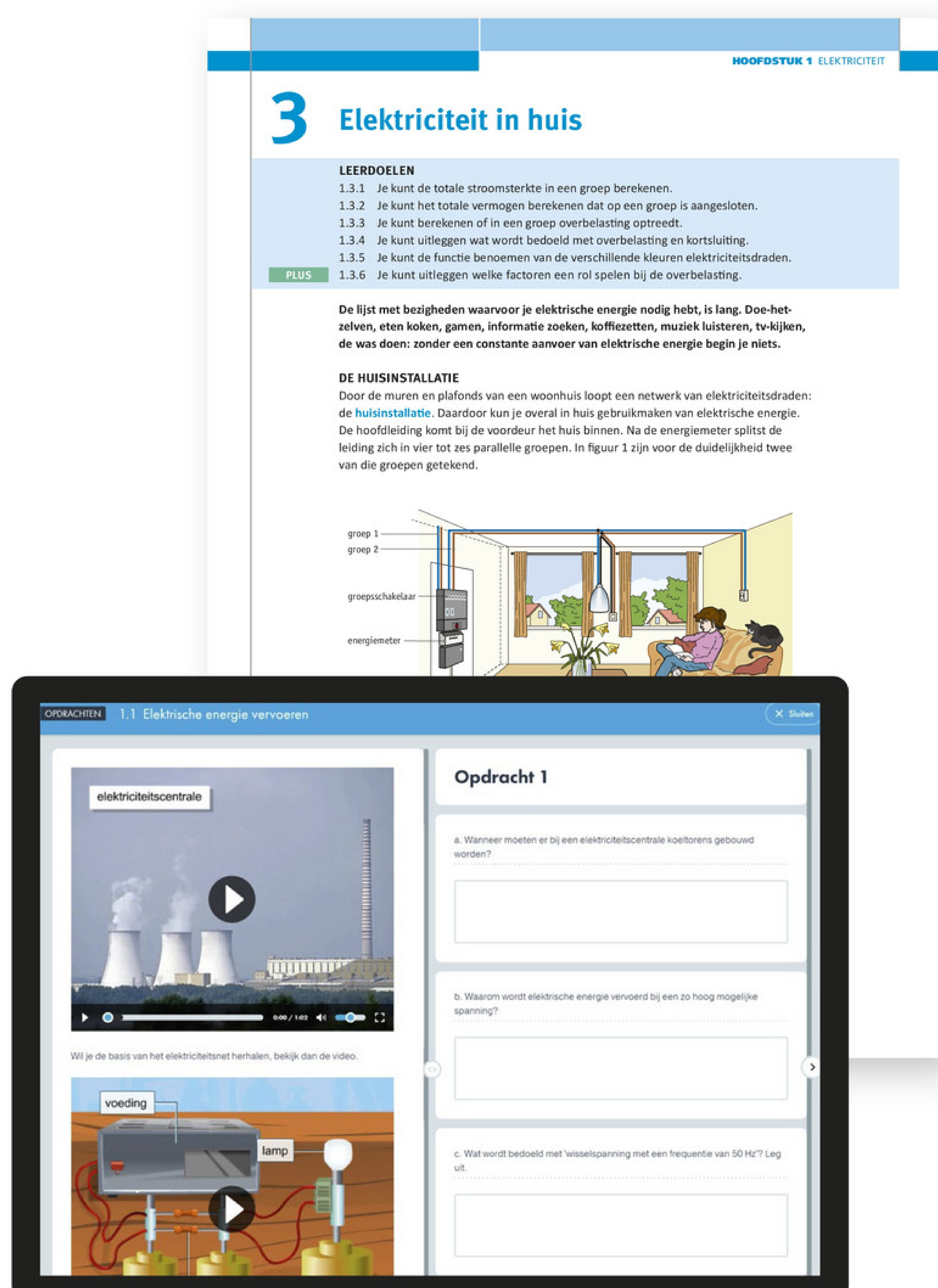
MAX Release 5.1

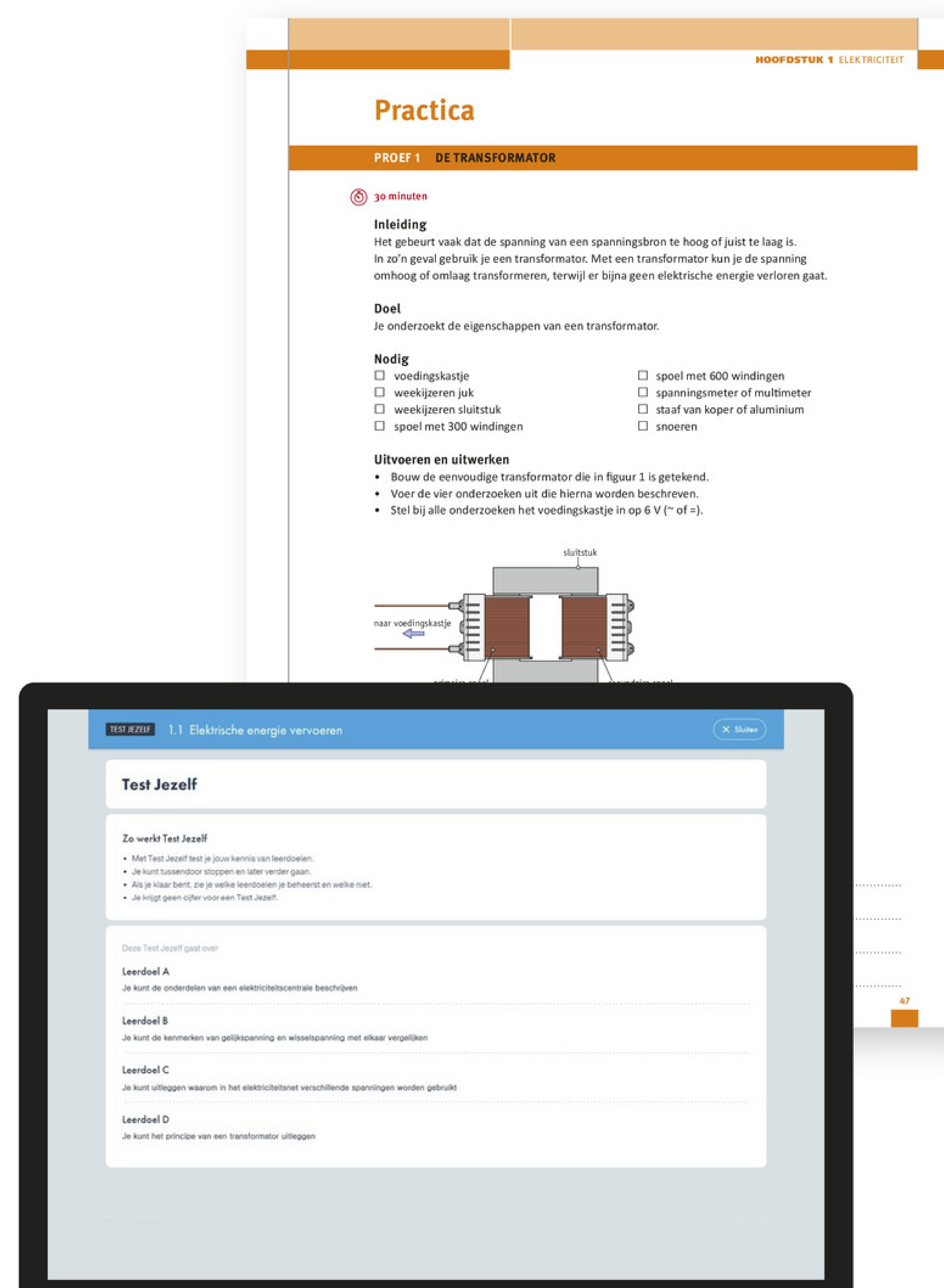
www.malmberg.nl/nova-natuurkunde
Malmberg, 's-Hertogenbosch

Aan de slag met Nova

Waarom Nova?

Natuurkunde gaat over de wereld om je heen. Met Nova heb je alles binnen handbereik om dit te ervaren, te beleven en te ontdekken!





Werk in je boek én online!

Er zijn twee boeken per leerjaar en een online leeromgeving. Je docent kiest wat je online doet (met laptop, tablet of telefoon) en wat in je boek. De antwoorden op de open opdrachten schrijf je niet in je boek, maar in je schrift. Elk hoofdstuk is verdeeld in een introductie waarin je je voorkennis vaststelt, theorieparagrafen, een practicumparagraaf, een praktijkartikel en een afsluiting. Aan het begin van elke paragraaf is met leerdoelen aangegeven wat je gaat leren. Met de plusstof kun je kijken of het vak natuurkunde ook in de bovenbouw geschikt voor je is. In het onderdeel practicum ga je met practica aan de slag en leer je onderzoeken. Aan het einde van elk hoofdstuk staat een praktijkartikel, waarin een deel van de lesstof in een situatie uit het dagelijks leven of de wetenschap wordt besproken. In de afsluiting vind je de onderdelen Onthoud en Begrippen.

Voordelen van online

- Je ziet snel wat je goed of fout doet.
- Je krijgt direct feedback op je antwoorden.
- Je bekijkt filmpjes en animaties.
- Je oefent belangrijke vaardigheden met de *Vaardigheidstrainer*.
- Je leert de begrippen met de *Flitskaarten*.
- Je meet of je de stof beheerst met de *Test jezelf*, *Oefentoets* en *Diagnostische toets*.
- Je kunt op een lager niveau en leerjaar werken.
- Je docent volgt hoe je het doet.

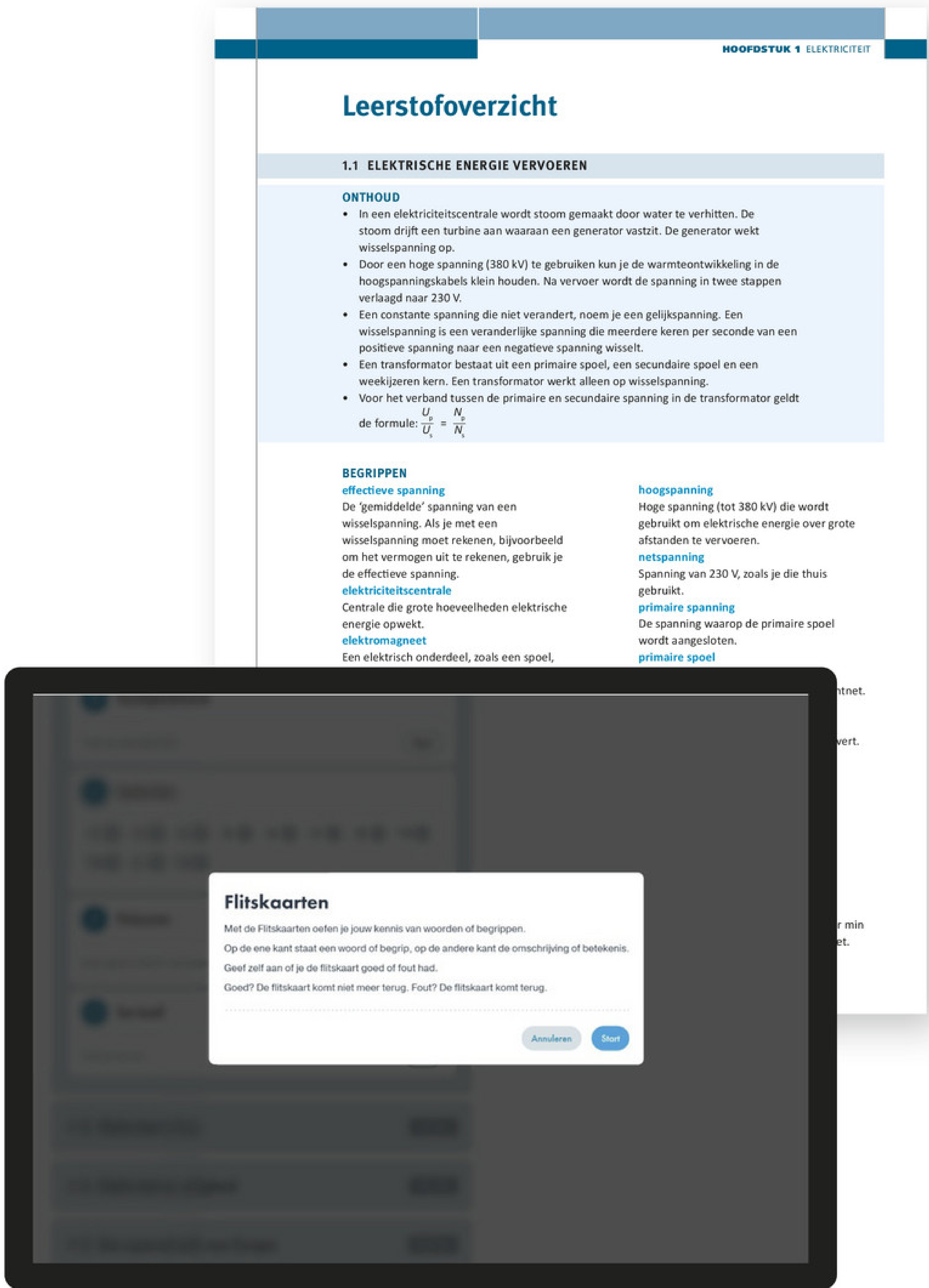
Vaardigheden

Aan het eind van elk boek vind je het onderdeel Vaardigheden, waarin de belangrijkste vaardigheden om onderzoek te doen worden uitgelegd. Enkele belangrijke vaardigheden kun je online oefenen met de *Vaardigheidstrainer*.

Goede voorbereiding op de toets!

In het boek vind je in de afsluiting van elk hoofdstuk de onderdelen Onthoud en Begrippen die je helpen bij de voorbereiding op de toets. In de online paragraaf Afsluiting staat een *Diagnostische toets*. Hier vind je ook *Flitskaarten* voor het leren van alle begrippen. Twijfel je of je de stof voldoende beheerst? Maak dan aan het einde van elke paragraaf de *Test jezelf* of *Oefentoets*.





Voordelen van het boek

- Je hebt snel overzicht van wat je gaat leren.
- Je leest lange teksten op papier.
- Je markeert in de tekst en maakt aantekeningen.
- Je schrijft korte antwoorden meteen bij de opdracht.
- Tabellen en grafieken vul je in in het boek, net als de resultaten van practica.
- Je tekent en kleurt zodat je leerstof goed onthoudt.

Leerdoelen en soorten opdrachten

Aan het begin van elke paragraaf zijn de leerdoelen opgenomen, zodat je precies kunt zien wat je gaat leren. Achterin het boek staan tabellen waarin voor elke opdracht is aangegeven wat voor soort opdracht het is (de taxonomie): onthouden, begrijpen, toepassen of analyseren.

Betekenis van de symbolen

(symbool)	Ga naar de online leeromgeving voor handige extra's.
PROEF 1	Er is een practicum bij deze lesstof.
(symbool)	Met dit practicum ben je zo lang bezig.
(symbool)	Gebruik de vaardigheid bij deze opdracht.
(symbool)	Deze opdracht biedt extra uitdaging.

Inhoud Deel A

Inhoud Deel B

1

Elektriciteit

ELEKTRISCHE ENERGIE GEBRUIKEN

Duurzame energiebronnen zijn de toekomst. Je ziet steeds meer zonnepanelen en windmolens die elektriciteit opwekken. Auto's die rijden op benzine of diesel worden steeds vaker vervangen door elektrische auto's. In plaats van te tanken bij een benzinestation, zoek je nu een parkeerplaats bij een laadpaal op straat.



Wat weet je al over elektriciteit?

LEERDOELEN

1. Je kunt uitleggen wat spanning en stroomsterkte zijn en hoe je deze grootheden meet.
2. Je kunt uitleggen wat de frequentie van een trilling is.
3. Je kunt het verschil tussen een parallelschakeling en een serieschakeling uitleggen.
4. Je kunt rekenen met de eenheden van stroomsterkte en spanning.
5. Je kunt uitleggen welke stoffen geleiders en isolatoren zijn en daarvan een aantal voorbeelden geven.
6. Je kent de symbolen die je gebruikt om een schakelschema te maken.
7. Je kunt het vermogen van een apparaat berekenen.

In deel 1-2 van Nova nask heb je al een aantal dingen over elektriciteit geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

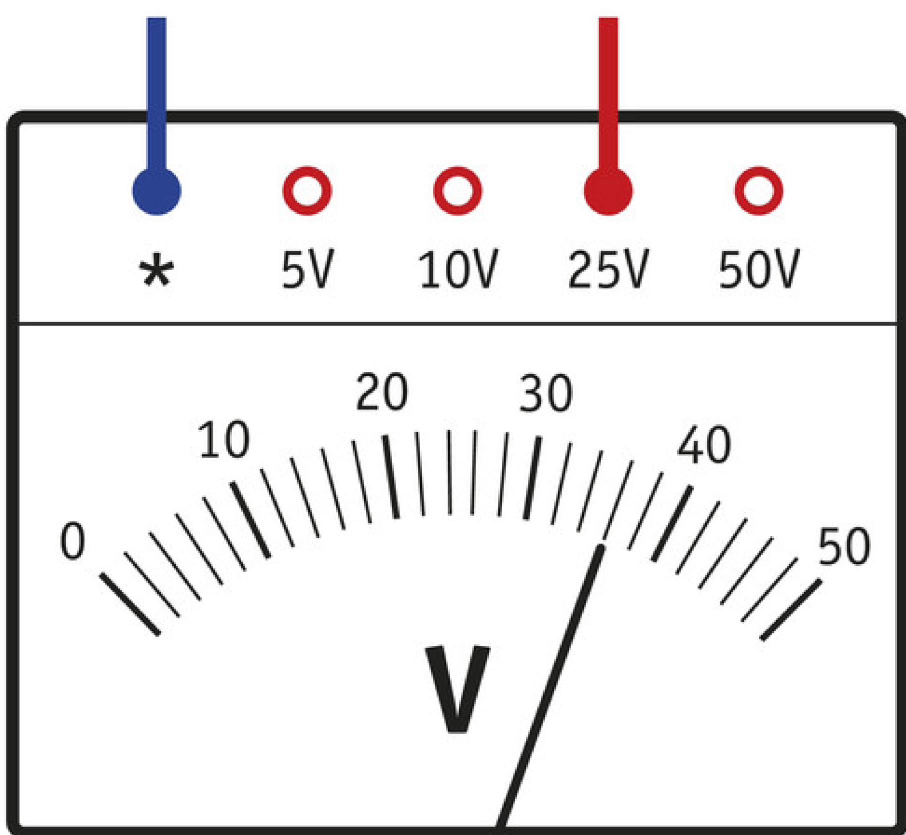
OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Vul de juiste grootheden en eenheden in.

grootheid	afkorting	eenheid	afkorting
spanning			
		ampère	
	P		
			Hz

2 Bekijk figuur 1.
Lees de spanningsmeter af. Let op de aansluiting van het rode snoer.

U = ... V



figuur 1 Een spanningsmeter.

3 Reken om.

230 V = ... kV

10 kV = ... V

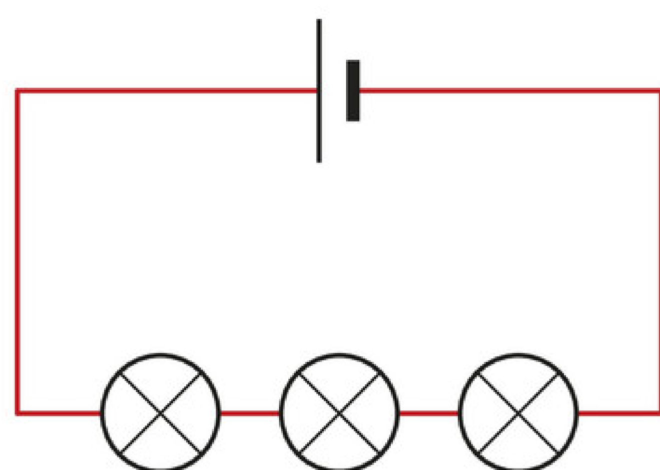
10 mA = ... A

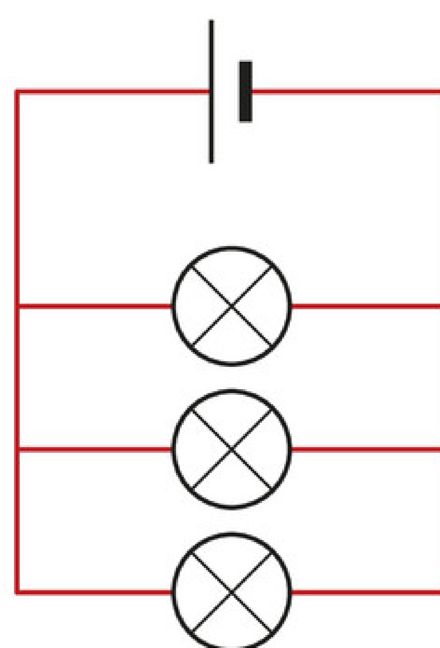
6,73 A = ... mA

6,25 min = ... s

6,15 h = ... s

4 Schrijf onder elke figuur de soort schakeling.





....

5 Je wilt de spanning over en de stroomsterkte door een lamp meten. Hiervoor sluit je een stroommeter *in serie met / parallel aan* de lamp aan. De spanningsmeter sluit je *in serie met / parallel aan* de lamp aan.

6 Onderstreep de materialen die elektrische stroom goed geleiden.
hout – glas – ijzer – koper – plastic – zilver

7 Een lamp is aangesloten op een spanningsbron van 6,0 V. Door de lamp loopt een stroom van 0,80 A.
Bereken het vermogen van de lamp bij deze spanning.



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk. Of scan de QR-code om direct naar een filmpje te gaan:



Spanning en stroomsterkte



Schakelingen

1 Elektrische energie vervoeren

LEERDOELEN

1.1.1 Je kunt de onderdelen van een elektriciteitscentrale beschrijven.
1.1.2 Je kunt de kenmerken van gelijkspanning en wisselspanning met elkaar vergelijken.
1.1.3 Je kunt uitleggen waarom in het elektriciteitsnet verschillende spanningen worden gebruikt.
1.1.4 Je kunt het principe van een transformator uitleggen.
1.1.5 Je kunt aan de hand van de verhouding van het aantal windingen de spanningsverhoging of spanningsverlaging in een transformator berekenen.
PLUS 1.1.6 Je kunt de werking van een ideale transformator uitleggen.

Een uitgestrekt leidingnetwerk vervoert de elektrische energie die je nodig hebt van de centrale naar je huis. Daarbij wordt de spanning verschillende keren omhoog en omlaag getransformeerd.

DE ELEKTRICITEITSCENTRALE

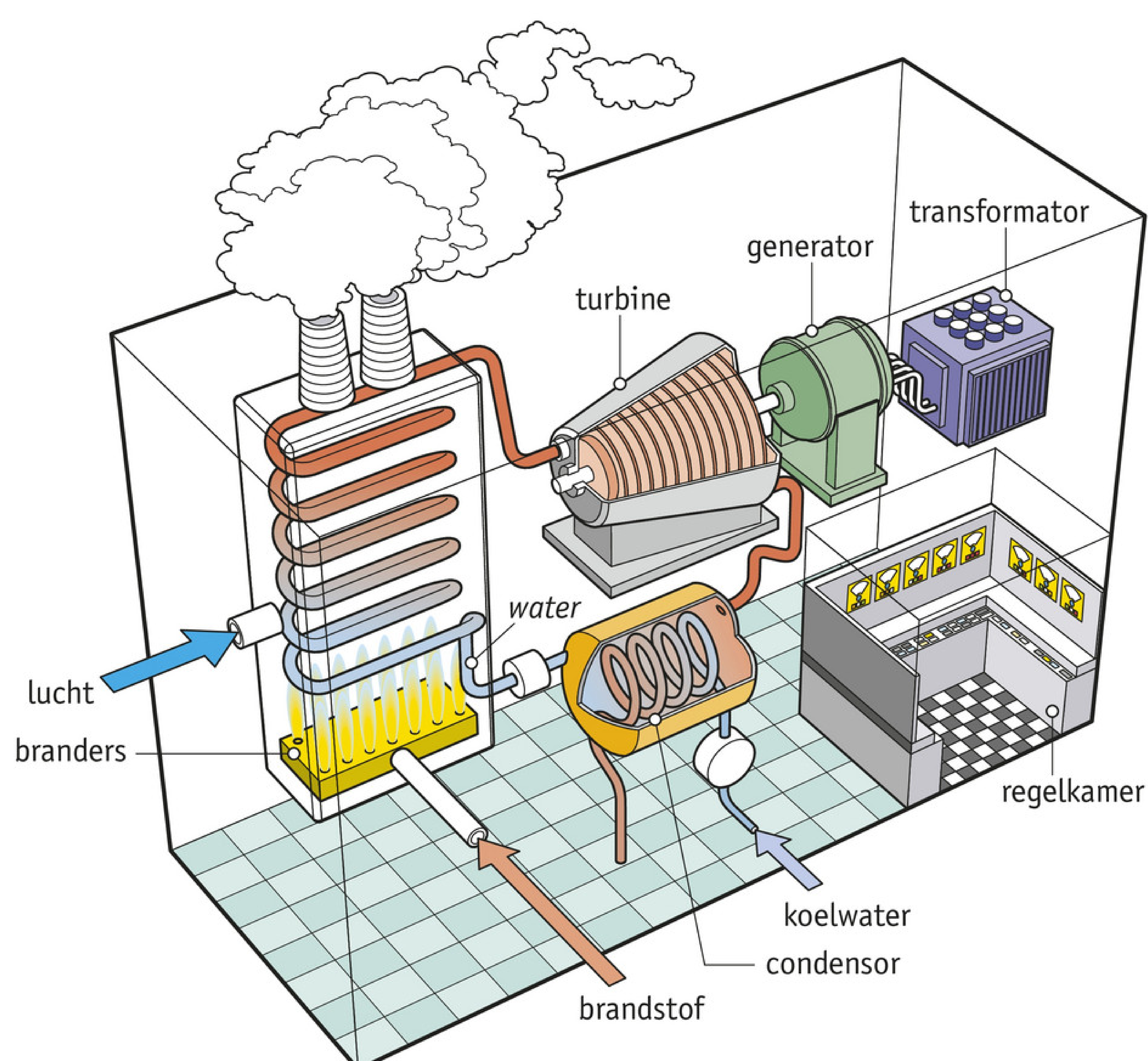
De elektrische energie die je thuis gebruikt kan op verschillende manieren zijn opgewekt: door een gewone **elektriciteitscentrale** of een kerncentrale, in een windturbine of met zonnepanelen. In Nederland leveren gewone elektriciteitscentrales nu nog de grootste bijdrage, al kan dat in de toekomst gaan veranderen (figuur 1).



figuur 1 De Amercentrale in Geertruidenberg, een gewone elektriciteitscentrale.

In figuur 2 zie je hoe een gewone elektriciteitscentrale werkt.

1 Door de branders wordt aardgas, steenkool of een andere brandstof verbrand. Met de vrijkomende warmte wordt het water in een ketel verhit. Hierdoor ontstaat stoom – hete waterdamp – met een temperatuur van ongeveer 500 °C en een zeer hoge druk.
2 De stoom spuit met grote snelheid tegen de schoepen van een turbine. Daardoor gaat de as van de turbine ronddraaien.
3 Aan de as van de turbine is een **generator** – een soort grote dynamo – gekoppeld. Als de as van de turbine draait, wordt er in de generator elektrische energie opgewekt.
4 De 'afgewerkte' stoom die intussen een veel lagere temperatuur en druk heeft gekregen, wordt naar een condensor geleid. Daar condenseert de stoom tot (vloeibaar) water. Dit water wordt vervolgens naar de ketel teruggepompt.



figuur 2 Zo ziet een elektriciteitscentrale er vanbinnen uit.

In een condensor wordt koelwater gebruikt om de stoom te laten condenseren. Meestal wordt het koelwater uit een rivier of een meer gehaald. Op plaatsen waar niet genoeg open water is, wordt het koelwater steeds opnieuw gebruikt. Bij de centrale staan dan koeltorens, waarin het koelwater zijn warmte aan de buitenlucht afstaat (figuur 3).



figuur 3 De koeltorens van de Clauscentrale bij Maasbracht.

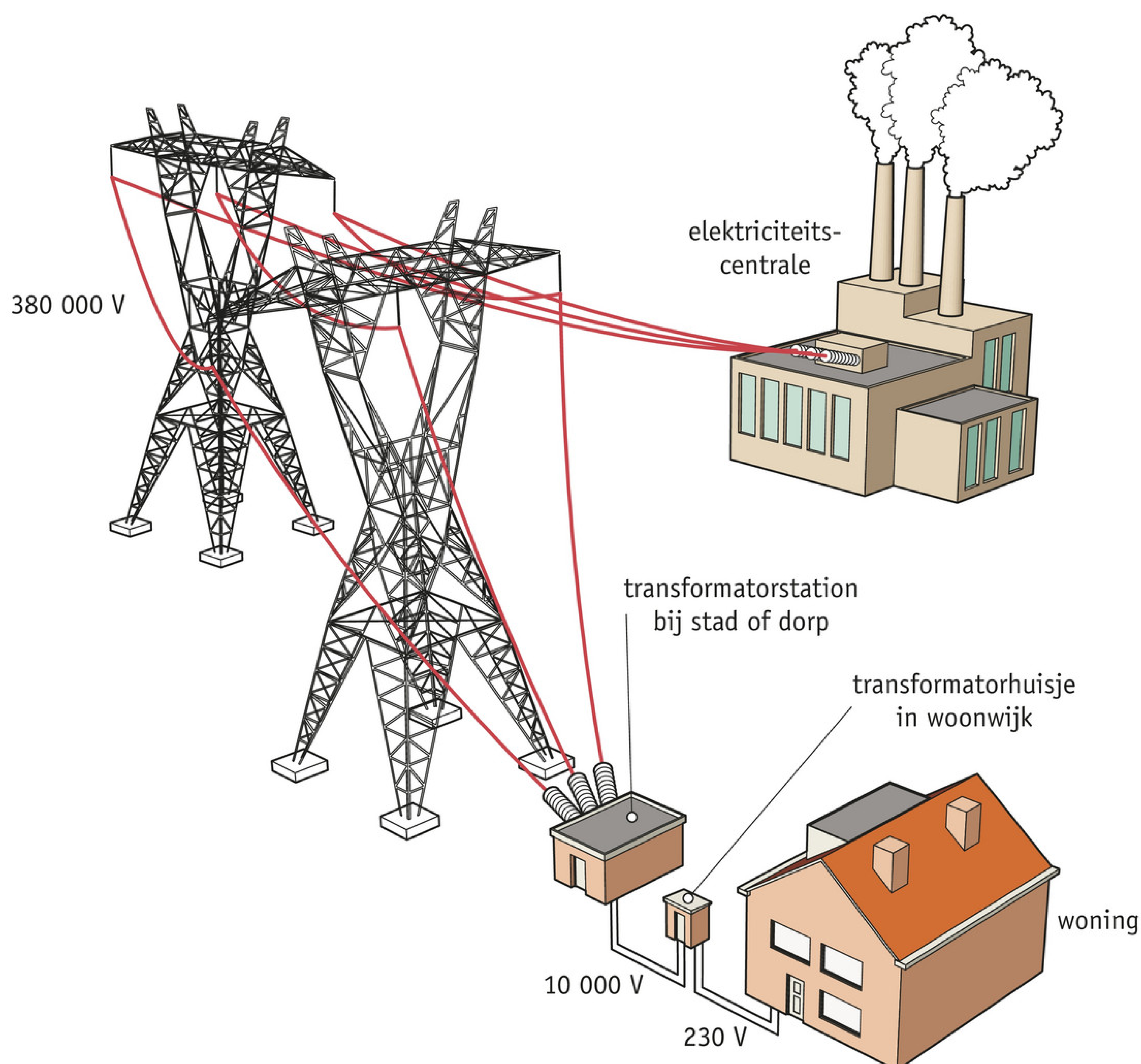
HET ELEKTRICITEITSNET

Als er stroom door een kabel loopt, wordt hij warm. Dat komt doordat een deel van de elektrische energie wordt omgezet in warmte. Hierdoor ontstaat **energieverlies**: er blijft minder elektrische energie over voor de eindgebruikers.

Om het energieverlies te beperken kun je elektrische energie het best vervoeren bij een zo hoog mogelijke spanning. Hoe hoger de gebruikte spanning, des te kleiner is het energieverlies en de warmteontwikkeling in de leidingen.

De spanning die de generatoren leveren wordt daarom bij de centrale omhoog getransformeerd. In Nederland wordt voor het vervoer over grote afstanden een **hoogspanning** van 380 kilovolt (kV) gebruikt. Bovengrondse hoogspanningsleidingen vervoeren de elektrische energie naar verschillende verdeelstations (figuur 4). Daar wordt de spanning weer omlaag getransformeerd tot 10 kV. Vervolgens wordt de elektrische energie via ondergrondse kabels naar woonwijken en industrieterreinen vervoerd.

In elke woonwijk staan één of meer transformatorhuisjes. Daar wordt de spanning getransformeerd naar de **netspanning** van 230 V, voordat de elektrische energie naar woningen wordt getransporteerd (figuur 5).



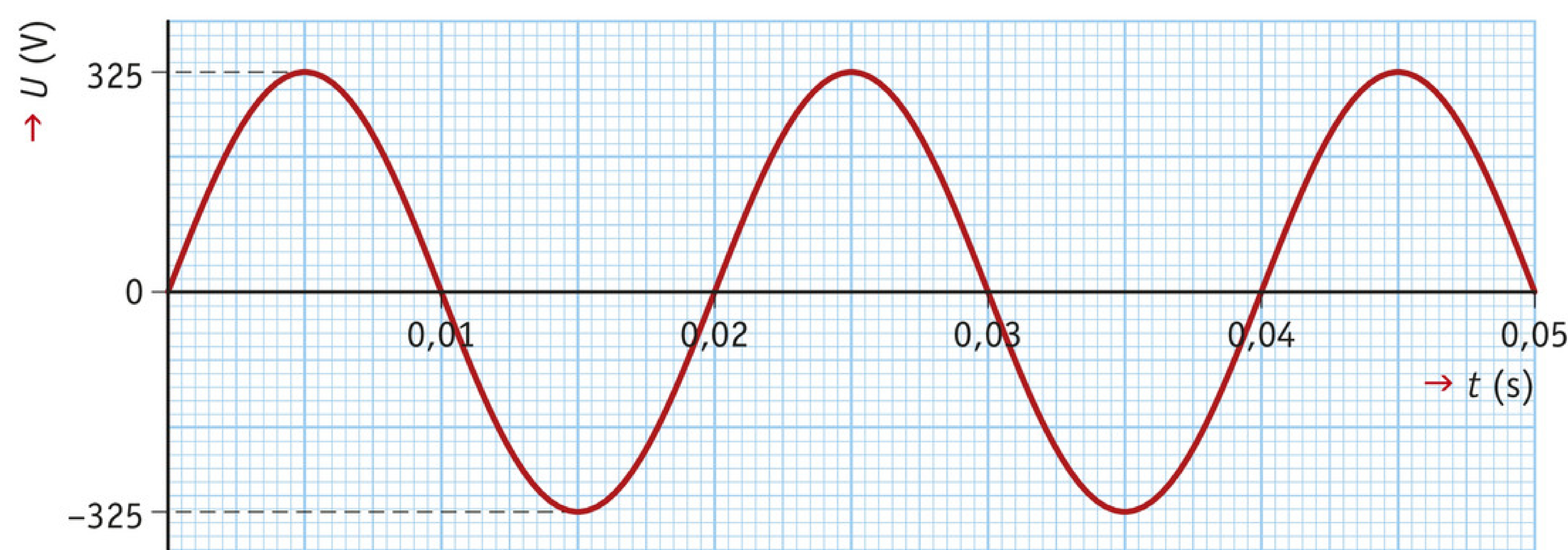


figuur 4 Hoogspanningsmasten transporteren elektrische energie onder hoge spanning.

figuur 5 Het elektriciteitsnet brengt elektrische energie van de centrale naar de eindverbruiker.

DE SPANNING VAN HET LICHTNET

Een batterij en een accu leveren steeds dezelfde **gelijkspanning**. Maar de spanning van het lichtnet gaat voortdurend op en neer, volgens een patroon dat zich vijftig keer per seconde herhaalt: van 325 V via 0 V naar –325 V en weer omhoog naar 325 V (figuur 6). Deze spanning is een **wisselspanning** met een frequentie van 50 Hz.



figuur 6 Een wisselspanning van 50 Hz.

Voor sommige apparaten maakt het niet uit of ze op de wisselspanning van het lichtnet werken of op een gelijkspanning van 230 V. Een waterkoker bijvoorbeeld produceert in beide gevallen evenveel warmte. Je zegt daarom dat de **effectieve spanning** van het lichtnet 230 V is. In de praktijk wordt het woord 'effectieve' vaak weggelaten en zeg je dat het lichtnet 'een spanning van 230 volt levert'. Veel apparaten die je thuis gebruikt werken overigens niet als je ze aansluit op gelijkspanning.

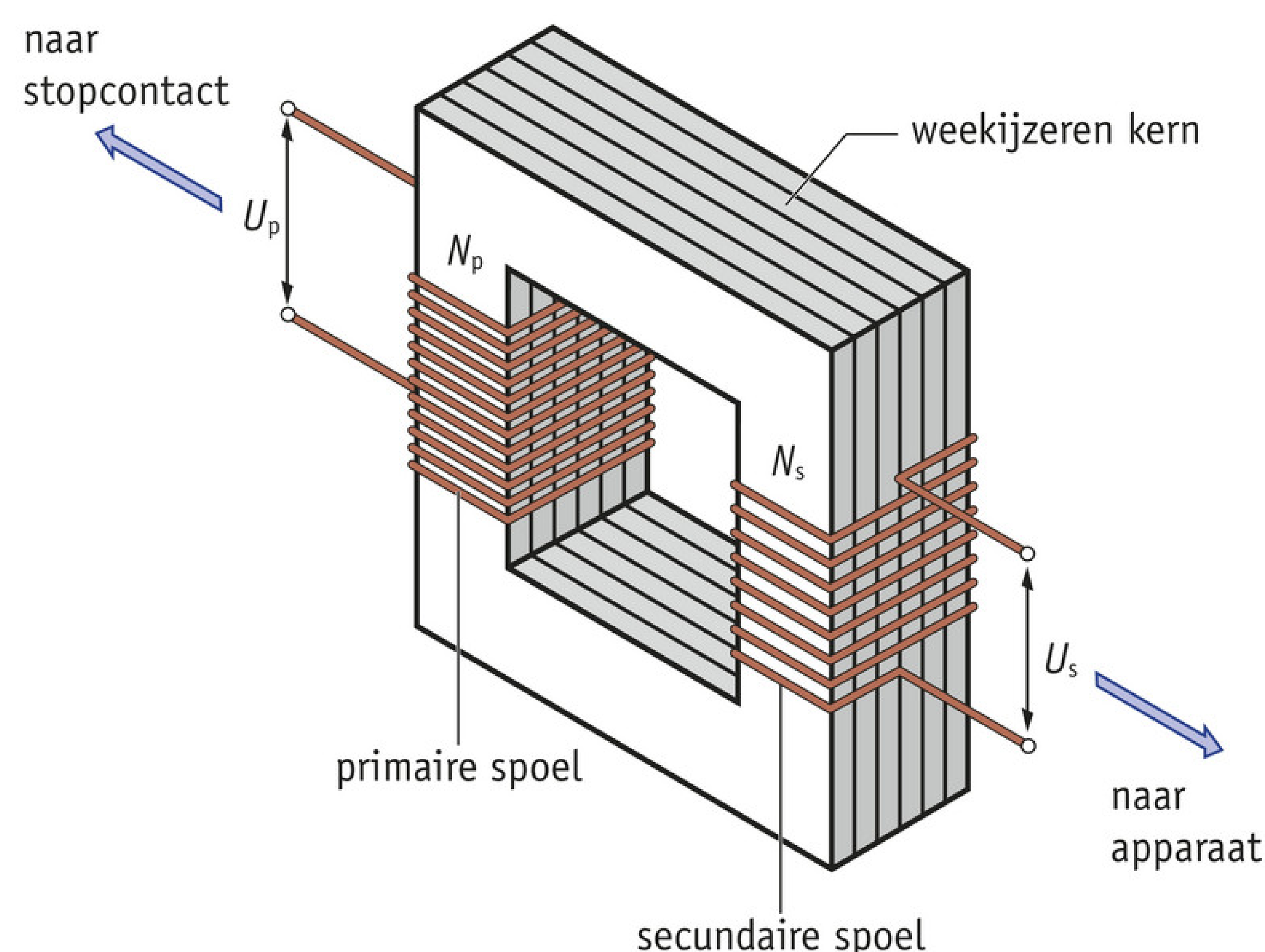
Voor sommige elektrische apparaten is de spanning van het lichtnet te hoog, zoals voor een deurbel of voor een ledlamp. Dit soort apparaten heeft een **transformator** die de spanning omlaagbrengt.

DE WERKING VAN EEN TRANSFORMATOR

PROEF 1

In figuur 7 is een eenvoudige transformator voor gebruik in huis getekend. Het apparaat bestaat uit twee spoelen van geïsoleerde koperdraad om een weekijzeren kern. Weekijzer is een zachte, pure vorm van ijzer, dat je gemakkelijk magnetisch kunt maken. De **primaire spoel** wordt verbonden met het lichtnet, de **secundaire spoel** met het apparaat.

- Als de transformator in gebruik is, loopt er een wisselstroom door de primaire spoel. De primaire spoel wordt daardoor een **elektromagneet**. Doordat de stroom steeds van grootte en richting verandert, doet het opgewekte magneetveld dat ook.
- De weekijzeren kern wordt hierdoor gemagnetiseerd. De magnetisatie verandert mee met het magneetveld van de primaire spoel: honderd keer per seconde draait de richting van het magneetveld om, net als de wisselstroom door de primaire spoel.
- Het gevolg is dat er ook in de secundaire spoel een veranderend magneetveld ontstaat. Dit magneetveld wekt op zijn beurt een (lagere) wisselspanning op tussen de uiteinden van de secundaire spoel. Dit is de spanning waarop het apparaat werkt.



figuur 7 Een transformator voor gebruik in huis (schematisch getekend).

De elektrische energie die de primaire spoel opneemt wordt door de secundaire spoel weer afgegeven. Er loopt daarbij geen stroom van de primaire naar de secundaire spoel. De energie wordt door het magneetveld vervoerd; daar komt geen elektriciteit aan te pas. Je zegt daarom dat de spoelen magnetisch aan elkaar zijn gekoppeld.

OMHOOG EN OMLAAG TRANSFORMEREN

De spanning waarop de primaire spoel wordt aangesloten noem je de **primaire spanning** U_p. De spanning die de secundaire spoel levert noem je de **secundaire spanning** U_s. Als een transformator de spanning omhoog transformeert, is U_s groter dan U_p. Bij het omlaag transformeren is U_s kleiner dan U_p.

Of de spanning hoger of lager wordt, hangt af van het aantal windingen van beide spoelen. Voor de verhouding tussen U_p en U_s geldt namelijk:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Hierin is:
- U_p, U_s de spanning in de primaire en secundaire spoel in volt (V);
- N_p, N_s het aantal windingen in de primaire en secundaire spoel, zonder eenheid.

VOORBEELDOPDRACHT 1
De transformator van een deurbel zet een wisselspanning van 230 V om in een wisselspanning van 12 V. De primaire spoel heeft 400 windingen.
Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.

gegevens	primaire spoel:	secundaire spoel:
	U_p = 230 V	U_s = 12 V
	N_p = 400	

gevraagd N_s = ?

uitwerking $\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{230}{12} = \frac{400}{N_s}$

$230 \cdot N_s = 400 \times 12 = 4800$

$N_s = \frac{4800}{230} = 21$ windingen


Wil je oefenen met *Uitkomsten afronden*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.

PLUS DE IDEALE TRANSFORMATOR

Een transformator is een energieomzetter: hij zet elektrische energie met een hoge spanning om in elektrische energie met een lage spanning, of omgekeerd. Daarbij gaat maar heel weinig energie verloren. In berekeningen kun je er vaak van uitgaan dat er helemaal geen energieverlies is. De fout die daardoor ontstaat, is in de praktijk te verwaarlozen. Vaak wordt er gerekend met het vermogen, dat is de verbruikte of geproduceerde energie per seconde.

Bij een **ideale transformator** (zonder energieverlies) is het opgenomen vermogen (van de primaire spoel) gelijk aan het afgestane vermogen (van de secundaire spoel). In formulevorm:

$P_p = P_s$ of $U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$

Hierin is:
- P_p, P_s het vermogen in de primaire en secundaire spoel in watt (W);
- U_p, U_s de spanning in de primaire en secundaire spoel in volt (V);
- I_p, I_s de stroomsterkte in de primaire en secundaire spoel in ampère (A).

VOORBEELDOPDRACHT 2

Een lasapparaat (figuur 8) wordt aangesloten op het lichtnet (230 V). Bij het lassen is de stroomsterkte door de primaire spoel 16 A. De secundaire spoel levert een spanning van 48 V.
Bereken de stroomsterkte in de secundaire spoel. Ga ervan uit dat de transformator in het lasapparaat ideaal is.

gegevens
primaire spoel:
$U_p = 230$ V
$I_p = 16$ A

secundaire spoel:
$U_s = 48$ V

gevraagd
$I_s = ?$

uitwerking
$U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$
$230 \times 16 = 48 \cdot I_s$
$3680 = 48 \cdot I_s$
$I_s = \frac{3600}{48} = 77$ A



figuur 8 Een lasser werkt met een lasapparaat.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wanneer moeten er bij een elektriciteitscentrale koeltorens worden gebouwd?
- **b** Waarom wordt elektrische energie bij een zo hoog mogelijke spanning vervoerd?
- **c** Leg uit wat wordt bedoeld met ‘wisselspanning met een frequentie van 50 Hz’.
- **d** Wat bepaalt of een transformator de spanning omhoog of juist omlaag brengt?

2 Bekijk de afbeelding van de elektriciteitscentrale in figuur 2.
- **a** Waarvoor wordt de warmte gebruikt die de branders produceren?
- **b** Hoe wordt de as van de turbine daarna aan het draaien gebracht?
- **c** Het apparaat dat die beweging gebruikt om elektriciteit op te wekken heet een ....
- **d** De ontstane spanning wordt ten slotte in een .... omgezet in hoogspanning.

3 Een transformator bestaat uit twee spoelen en een metalen kern.
- **a** De metalen kern is gemaakt van ....
- **b** Waarom wordt dit metaal gekozen?

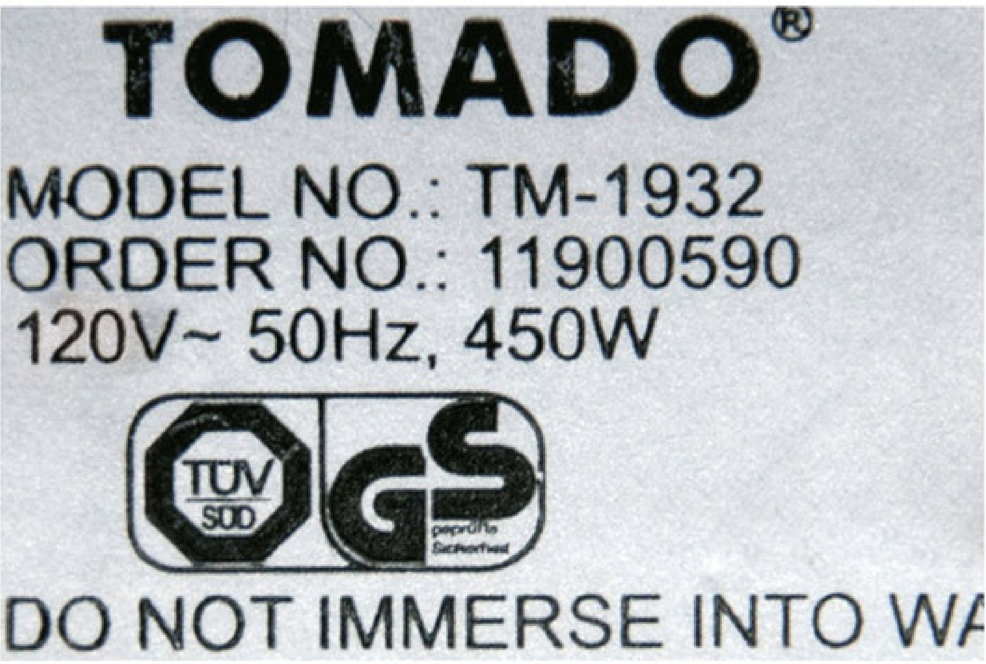
TOEPASSING

4 Francisca laadt haar mobieltje met een adapter op. Tussen de elektriciteitscentrale en haar mobieltje is de spanning verschillende keren omhoog en omlaag getransformeerd. Vul tabel 1 in. Kies bij de spanningen uit: *5 V – 230 V – 10 kV – 380 kV*

tabel 1 Vier keer de spanning transformeren.

de transformator	transformeert de spanning		
	omhoog / omlaag	van	naar
in de elektriciteitscentrale	omhoog	20 kV	
in het transformatorstation buiten de stad of het dorp			
in het transformatorhuisje in de stad of het dorp			
in de adapter van Francisca's mobieltje			

5 De Amerikaanse Suzy is verhuisd naar Nederland. Ze wil haar koffiemachine uit de VS aansluiten op het Nederlandse lichtnet. Met dat doel kocht ze '*a voltage converter which converts the European voltage – a whopping 230 V – to the standard USA mains voltage*' (figuur 9).
De transformator in de omvormer heeft een secundaire spoel met 500 windingen.
Bereken het aantal windingen van de primaire spoel.



figuur 9 Het typeplaatje van Suzy's koffiemachine.

6 Op een deurbel staat: 8,0 V/0,60 A. De bel is via een transformator op het lichtnet (230 V) aangesloten.
Bereken de verhouding tussen het aantal windingen in de primaire spoel en het aantal windingen in de secundaire spoel.

7 Netta heeft drie spoelen: spoel A met 100 windingen, spoel B met 200 windingen en spoel C met 400 windingen. Ze kan een eenvoudige transformator maken door twee van de spoelen over een weekijzeren kern te plaatsen.
Met welke combinatie van spoelen kan Netta een wisselspanning van 6 V:

a omhoog transformeren tot 12 V (twee mogelijkheden)?

b omhoog transformeren tot 24 V?
De primaire spoel is spoel *A / B / C*
De secundaire spoel is spoel *A / B / C*

c omlaag transformeren tot 3 V (twee mogelijkheden)?

d omlaag transformeren tot 1,5 V?
De primaire spoel is spoel *A / B / C*
De secundaire spoel is spoel *A / B / C*

8 Boudewijn heeft een spanningsbron die alleen een wisselspanning van 6,0 V levert. Voor de proef die hij wil doen heeft hij een hogere spanning nodig. Daarom besluit hij om zelf een transformator te maken. Hij heeft daarvoor de keuze uit vier spoelen, met respectievelijk 200, 300, 400 en 600 windingen.

a Met welke combinatie van spoelen kan Boudewijn de spanning het verst omhoogbrengen?

Hij gebruikt voor de primaire spoel .... windingen en voor de secundaire spoel .... windingen.

b Bereken hoe groot de secundaire spanning wordt als hij die combinatie gebruikt.

c Op de spanningsbron zit een schakelaar met twee standen: = (gelijkspanning) en ~ (wisselspanning) Leg uit welk soort spanning Boudewijn voor zijn transformator moet kiezen.

9 Transformatoren worden vaak gebruikt als 'veiligheidstransformator'. Zo'n transformator zet de spanning van het lichtnet (230 V) om in een veilige laagspanning.

a De beide spoelen van een veiligheidstransformator moeten goed van elkaar zijn gescheiden door isolerend materiaal. Leg uit waarom dat nodig is.

b Noteer twee situaties waarin een veiligheidstransformator wordt toegepast.

c Een veiligheidstransformator transformeert de spanning van het lichtnet omlaag naar 12 V. De primaire spoel heeft 115 windingen. Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.

 **Test je kennis met de *Test jezelf*.**

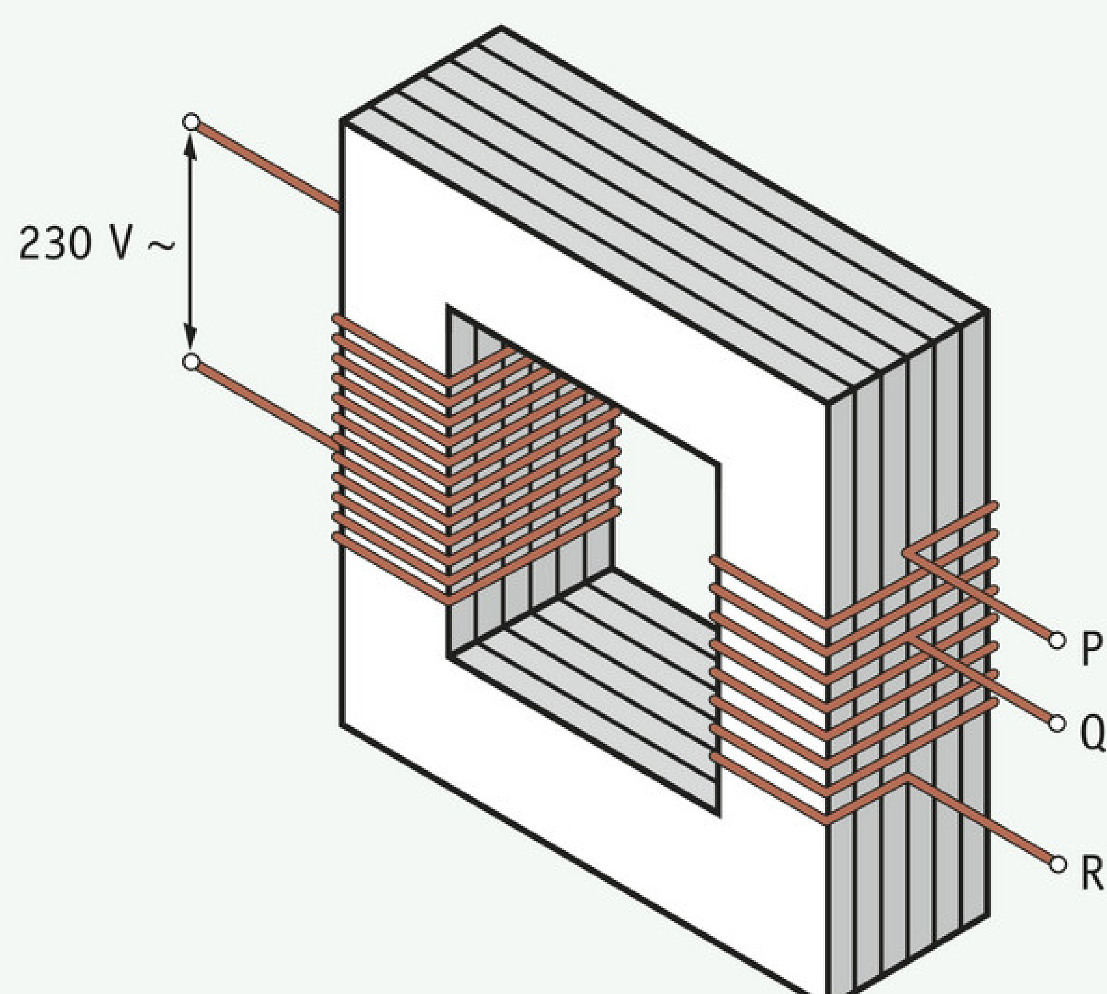
PLUS DE IDEALE TRANSFORMATOR

10 Een elektrische deurbel werkt op de laagspanning van een beltransformator. In figuur 10 is zo'n beltransformator schematisch getekend. De primaire spoel is aangesloten op het lichtnet (230 V). Aan de secundaire kant heb je drie aansluitmogelijkheden: 3 V, 5 V of 8 V.

a Hoe groot zal de spanning zijn tussen de aansluitpunten P en Q: 3 V, 5 V of 8 V? Licht je antwoord toe.

b De primaire spoel heeft 800 windingen. Bereken het totale aantal windingen van de secundaire spoel.

c Een bel wordt aangesloten op de aansluitpunten Q en R (figuur 10). Als iemand aanbelt, loopt er een stroom van 0,42 A door de secundaire stroomkring. Bereken de stroomsterkte door de primaire spoel. Neem daarbij aan dat de transformator ideaal is.

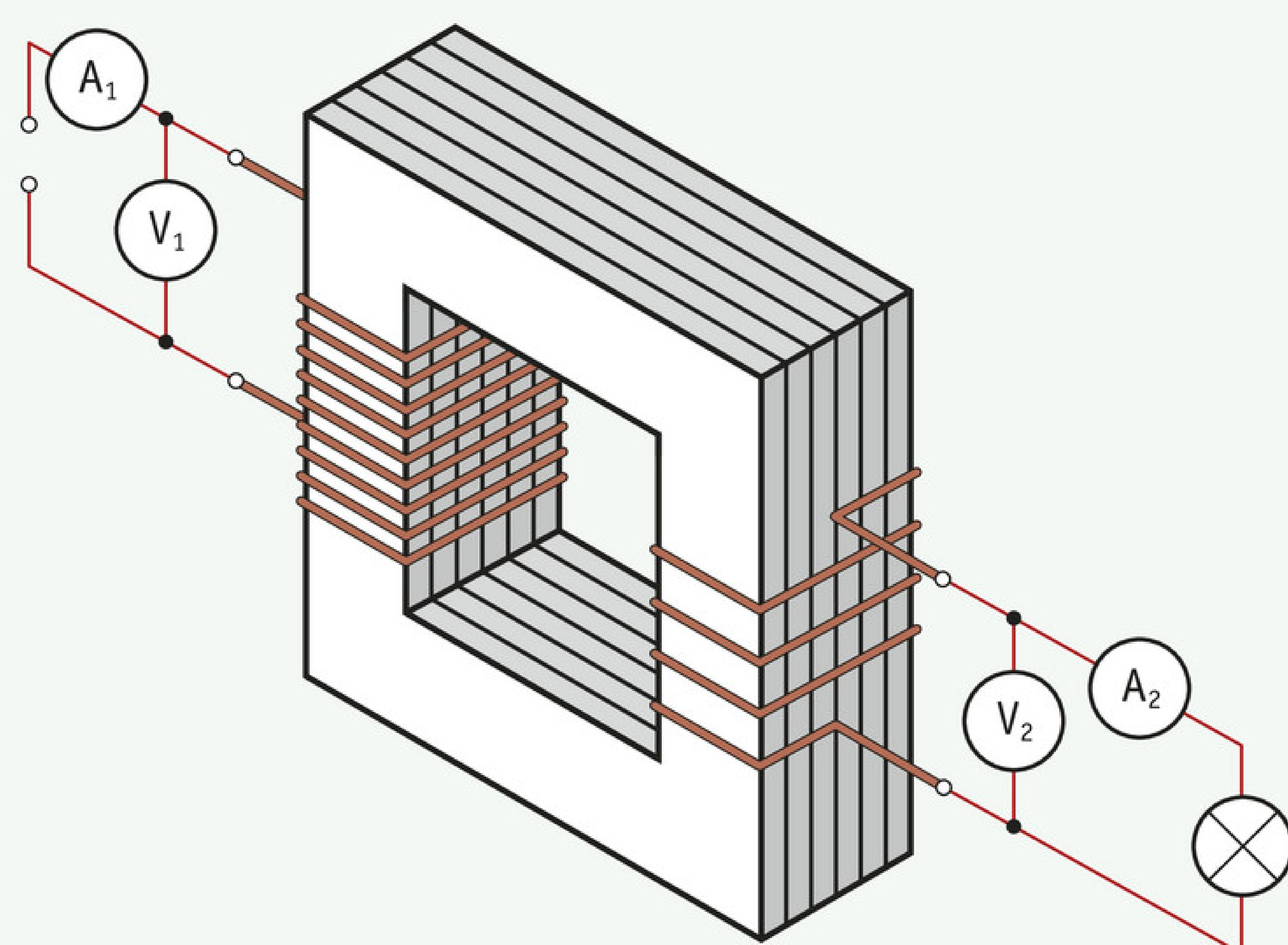


figuur 10 Een beltransformator.

★ **11** Bij berekeningen wordt vaak aangenomen dat een transformator ideaal is. Leo wil onderzoeken hoeveel een echte transformator afwijkt van dat ideaal. Hij gebruikt daarvoor de opstelling van figuur 11. Bij een van zijn proeven noteert Leo de volgende gegevens:

- stroommeter 1: 0,25 A
- stroommeter 2: 0,42 A
- spanningsmeter 1: 12,0 V
- spanningsmeter 2: 6,0 V

a Wat is een ideale transformator?
b Bereken het vermogen dat de primaire spoel opneemt.
c Bereken het vermogen dat de secundaire spoel afgeeft.
d Bereken hoeveel procent van het elektrische vermogen dat de primaire spoel opneemt verloren gaat.



figuur 11 Een schematische tekening van Leo's proefopstelling.

2 Vermogen en energie

LEERDOELEN

1.2.1 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen vermogen, spanning en stroomsterkte.
1.2.2 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen energie, vermogen en tijd.
1.2.3 Je kunt de eenheden joule en kilowattuur naar elkaar omrekenen.
PLUS 1.2.4 Je kunt berekeningen maken met de grootheden die belangrijk zijn bij de opslag van energie in batterijen: energiedichtheid, vermogen, spanning, stroomsterkte en energie.

Koelkasten zijn niet allemaal even zuinig met elektrische energie. Een koelkast met een A+ label verbruikt per jaar ongeveer twee keer zo veel elektrische energie als een koelkast met een A+++ label. Het kan daarom voordelig zijn om een koelkast met een A+++ label te kopen. Die verdient zichzelf terug doordat de jaarlijkse energierekening lager uitvalt.

ELEKTRISCH VERMOGEN

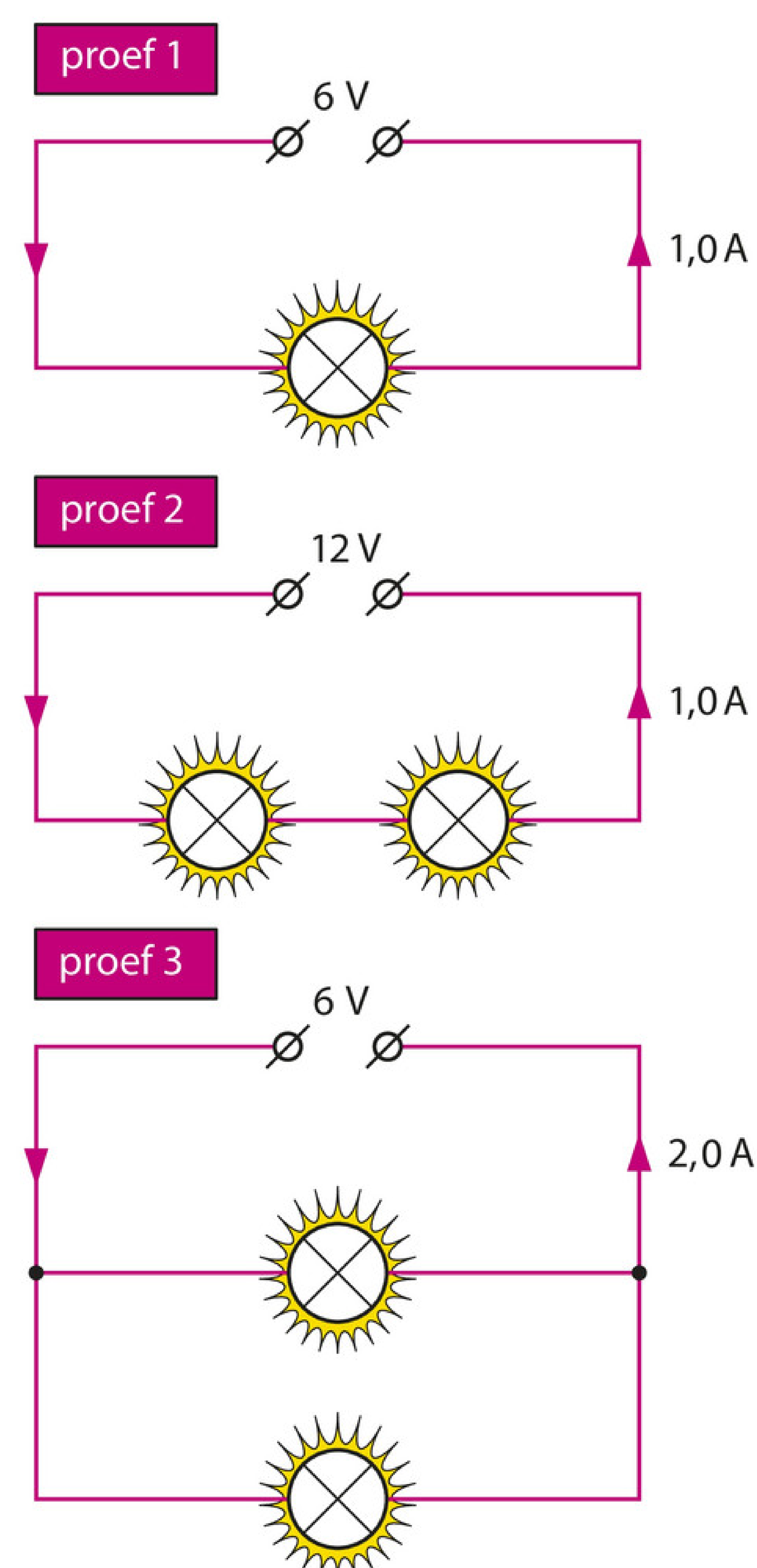
Op elk elektrisch apparaat staat aangegeven hoeveel elektrische energie het apparaat per seconde verbruikt. Dit wordt het **vermogen** van het apparaat genoemd. De eenheid van vermogen is watt (W). Als een apparaat een variabel vermogen heeft, zoals een mixer met verschillende standen, wordt de maximale waarde vermeld (figuur 1).



figuur 1 Een mixer met een maximaal vermogen van 175 W.

Het vermogen van een apparaat hangt af van twee factoren: de spanning (over het apparaat) en de stroomsterkte (door het apparaat). Dat dit zo is, kun je nagaan door proeven te doen zoals in figuur 2.

- In proef 1 brandt één lampje op een spanning van 6,0 V. De stroomsterkte door het lampje is dan 1,0 A.
- In proef 2 zijn twee lampjes in serie aangesloten. Om de twee lampjes elk even fel te laten branden als het lampje in proef 1, moet je de spanning verhogen tot 12 V. Over elk lampje staat dan een spanning van 6,0 V. Je ziet dat als de spanning verdubbelt, het vermogen ook verdubbelt.
- In proef 3 zijn twee lampjes parallel geschakeld. De spanningsbron is weer ingesteld op 6,0 V. Door elk lampje loopt dan een stroom van 1,0 A, zodat ze elk even fel branden als het lampje in proef 1. Door de draad naar de batterij loopt dan 2,0 A. Je ziet dat als de totale stroomsterkte verdubbelt tot 2,0 A, het vermogen ook verdubbelt.



figuur 2 Het vermogen hangt af van de spanning en de stroomsterkte.

Uit dit soort proeven blijkt dat het vermogen afhangt van de spanning én van de stroomsterkte. Je kunt het elektrische vermogen daarom berekenen met de formule:

$$P = U \cdot I$$

Hierin is:
- *P* het vermogen in watt (W);
- *U* de spanning in volt (V);
- *I* de stroomsterkte in ampère (A).

HET ENERGIEVERBRUIK BEREKENEN

Een apparaat kan een groot vermogen hebben, maar als je het apparaat weinig gebruikt, valt het **energieverbruik** wel mee. Omgekeerd kan een apparaat met een klein vermogen een onverwacht hoog energieverbruik hebben als het dag en nacht aanstaat (figuur 3). Het energieverbruik van een apparaat wordt dus niet alleen bepaald door het vermogen, maar ook door de tijd dat het apparaat energie verbruikt.

Je kunt het energieverbruik berekenen door het vermogen te vermenigvuldigen met de tijd. In formulevorm:

$$E = P \cdot t$$

Hierin is:
- *E* de energie in joule (J);
- *P* het vermogen in watt (W);
- *t* de tijd in seconde (s).

VOORBEELDOPDRACHT 1

Johan gebruikt een mixer van 350 W om slagroom te kloppen. Na 3,0 min kloppen is de slagroom klaar en zet hij het apparaat uit.
Bereken het energieverbruik van de mixer (in kJ).

gegevens P = 350 W
t = 3,0 min = 180 s

gevraagd E = ?

uitwerking $E = P \cdot t$ = 350 × 180 = 63 000 J = 63 kJ

Stop sluipverbruik van apparaten

Als de stekker in het stopcontact zit, verbruiken veel apparaten toch energie, ook al worden ze niet gebruikt. Dit heet stand-byverbruik of sluipverbruik.



De top 5 van grootste sluipverbruikers bestaat uit:

1 kleine elektrische boiler:
€ 30 per jaar
2 computer met randapparatuur:
€ 30 per jaar
3 internetmodem:
€ 16 per jaar
4 kokendwaterkraan:
€ 16 per jaar
5 satellietontvanger:
€ 12 per jaar

Stand-byverspilling is simpel te voorkomen met stand-bykillers.

Bron: www.energievergelijk.nl

figuur 3 Sluipverbruikers hebben een klein vermogen, maar staan wel dag en nacht aan.

DE JOULE ALS EENHEID VAN ENERGIE

Met 1 joule elektrische energie kun je niet veel doen. Je kunt met deze hoeveelheid energie bijvoorbeeld:

- een lampje van 1 watt 1 seconde lang laten branden;
- een voorwerp van 100 gram ongeveer 1 meter omhooghijsen;
- de temperatuur van 1 gram water 0,24 °C laten stijgen.

De hoeveelheden elektrische energie die elektrische apparaten verbruiken zijn veel groter dan 1 J. Daarom is het vaak handiger die hoeveelheden te meten in kilojoule (kJ) of megajoule (MJ). Een opgeladen batterij van een smartphone bevat bijvoorbeeld 15 à 25 kJ elektrische energie. En een gezin van vier personen verbruikt per dag gemiddeld 45 MJ aan elektrische energie.

De joule wordt niet alleen gebruikt voor elektrische energie, maar ook voor andere soorten energie. De energiewaarde van levensmiddelen wordt bijvoorbeeld vaak uitgedrukt in kilojoule per 100 gram. Op het etiket in figuur 4 zie je dat 100 g pindakaas 2700 kJ energie levert. Als je 15 g pindakaas op een boterham smeert, is de energiewaarde daarvan 0,15 × 2700 = 405 kJ.

VOEDINGSWAARDE:	Per 100 g	Per 2 boterhammen (30g)
ENERGIE:	2700 kJ (645 kcal)	810 kJ (194 kcal)
EIWITTEN:	24 g	7 g
KOOLHYDRATEN:	15 g	5 g
waarvan suikers:	7 g	2 g
VET:	55 g	17 g
waarvan verzadigd:	10 g	3 g
enkelvoudig onverzadigd:	19 g	6 g
meervoudig onverzadigd:	26 g	8 g
VOEDINGSVEZEL:	6 g	2 g
NATRIUM:	0,26 g	0,08 g
IJZER:	2,9 mg	0,9 mg (6% ADH)
VITAMINE B1:	0,30 mg	0,09 mg (6% ADH)
VITAMINE B3:	16 mg	4,8 mg (27% ADH)
VITAMINE B6:	0,45 mg	0,14 mg (7% ADH)
VITAMINE E:	18,2 mg	5,5 mg (55% ADH)

% ADH = % van de Aanbevolen Dagelijkse Hoeveelheid

figuur 4 De energie in pindakaas.

ENERGIE METEN IN KWH

PROEF 2+3

Ook al is de joule de officiële eenheid van energie, toch staat er op elektriciteitsrekeningen een andere eenheid: het kilowattuur (kWh). Dezelfde eenheid zie je ook staan op de meter die het verbruik van elektrische energie in huis meet (figuur 5). Zo'n meter wordt daarom een **kWh-meter**, of **energiemeter** genoemd. Als je in de formule $E = P \cdot t$ het vermogen P invult in kilowatt (kW) en de tijd t in uur (h), vind je het energieverbruik E in kilowattuur (kWh).

De kWh is een eenheid die eigenlijk overbodig is. Je kunt het energieverbruik in principe net zo gemakkelijk in MJ meten. Toch houden energiebedrijven vast aan de kWh, omdat al hun systemen daarop zijn ingesteld. Bovendien zouden ze anders alleen al in Nederland zes tot zeven miljoen kWh-meters moeten vervangen door MJ-meters en dat wordt veel te duur.

Omdat er twee eenheden naast elkaar bestaan, zul je af en toe een hoeveelheid energie moeten omrekenen van kWh naar J of omgekeerd. 1 kWh is gelijk aan 3,6 MJ. Reken zelf maar na: als een apparaat van 1 kW (= 1000 W) precies 1 uur (= 3600 s) aanstaat, verbruikt het:

$E = P \cdot t$	$E = P \cdot t$
$E = 1\ \text{kW} \times 1\ \text{h}$	$E = 1000\ \text{W} \times 3600\ \text{s}$
$E = 1\ \text{kWh}$	$E = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J} = 3{,}6\ \text{MJ}$



figuur 5 Een energiemeter meet het verbruik van elektrische energie.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Hugo schat dat zijn bureaulamp (6 W) in een maand ongeveer 60 uur brandt (figuur 6).
Bereken:

- hoeveel elektrische energie de lamp in 60 uur verbruikt;
- hoeveel die elektrische energie kost. 1 kWh kost € 0,23.



figuur 6 Hugo's bureaulamp.

gegevens P = 6 W = 0,006 kW
t = 60 h

gevraagd E = ?

uitwerking $E = P \cdot t$ = 0,006 × 60 = 0,36 kWh
prijs: 0,36 × 0,23 = € 0,08

PLUS ELEKTRISCHE ENERGIE OPSLAAN

Batterijen worden steeds belangrijker in het dagelijks leven. Je treft ze aan in een elektrische fiets, in je smartphone, in elektrisch gereedschap en in allerlei andere moderne gadgets. In de toekomst zullen ze een steeds grotere rol spelen in de opslag van duurzame wind- en zonne-energie bij huizen en bedrijven. De productie van oplaadbare lithium-ionbatterijen is de afgelopen tijd dan ook ongeveer elke drie jaar verdubbeld.



figuur 7 Je smartphone werkt op een Li-ionbatterij.

Een belangrijke eigenschap van een batterij is de **energiedichtheid**. Dit is de hoeveelheid elektrische energie die per kilogram (batterij) kan worden opgeslagen. Zo heeft een Li-ionbatterij (lithium-ionbatterij, figuur 7), die je vaak in smartphones en laptops aantreft, een energiedichtheid van tussen de 150 Wh/kg en 200 Wh/kg. Dit is drie tot vier keer meer dan de energiedichtheid van een 'ouderwetse' oplaadbare nikkelmetaalhydridebatterij (NiMH). Als je smartphone op deze laatstgenoemde batterij zou moeten werken, zou hij ongeveer vier keer zo zwaar en dus ook een stuk groter moeten zijn.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Door welke twee grootheden wordt het vermogen van een elektrisch apparaat bepaald?
- **b** Hoe kan het dat een apparaat met een klein vermogen soms verrassend veel elektrische energie verbruikt?
- **c** Met welke formule kun je het energieverbruik van een elektrisch apparaat berekenen?
- **d** Hoe heet het instrument waarmee je meet hoeveel elektrische energie er in huis wordt verbruikt?

2

a In tabel 1 zie je een overzicht van grootheden en eenheden die je gebruikt om het vermogen te berekenen.
Noteer de ontbrekende woorden en letters in de tabel.

tabel 1 Grootheden en eenheden.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
			A
	U		
vermogen			

b In tabel 2 zie je een overzicht van grootheden en eenheden die je gebruikt om de elektrische energie te berekenen die een apparaat verbruikt.
Noteer de ontbrekende woorden en letters in de tabel.

tabel 2 Grootheden en eenheden.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
			kWh
energie			
		seconde	
			h

TOEPASSING

3

Bereken het vermogen van de volgende apparaten.

a Antons rekenmachine werkt op een batterij van 1,5 V; de stroomsterkte is 0,080 mA.
b Birgits stofzuiger is op het lichtnet (230 V) aangesloten; de stroomsterkte is 7,8 A.
c Corry schakelt de startmotor van haar auto in; de accu levert 8,1 V bij een stroomsterkte van 160 A.

4

De steenkoolcentrale Centrale Hemweg in Amsterdam levert een piekvermogen van 640 MW aan het elektriciteitsnet. Het windmolenpark Wieringerwerf levert een piekvermogen van 300 MW. Een doorsnee huishouden neemt op de uren dat het energieverbruik het hoogst is, gemiddeld een elektrisch vermogen van 800 W op.

a Zie de vaardigheid *Werken met grootheden en eenheden*.
Bereken hoeveel huishoudens door de Centrale Hemweg en door het windmolenpark Wieringerwerf van elektrische energie kunnen worden voorzien.


Meer oefening nodig met *Rekenen met elektrisch vermogen*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.

b De meeste elektriciteitscentrales werken gedurende het grootste deel van de dag ver onder hun piekvermogen.
Leg uit waarom dat zo is.

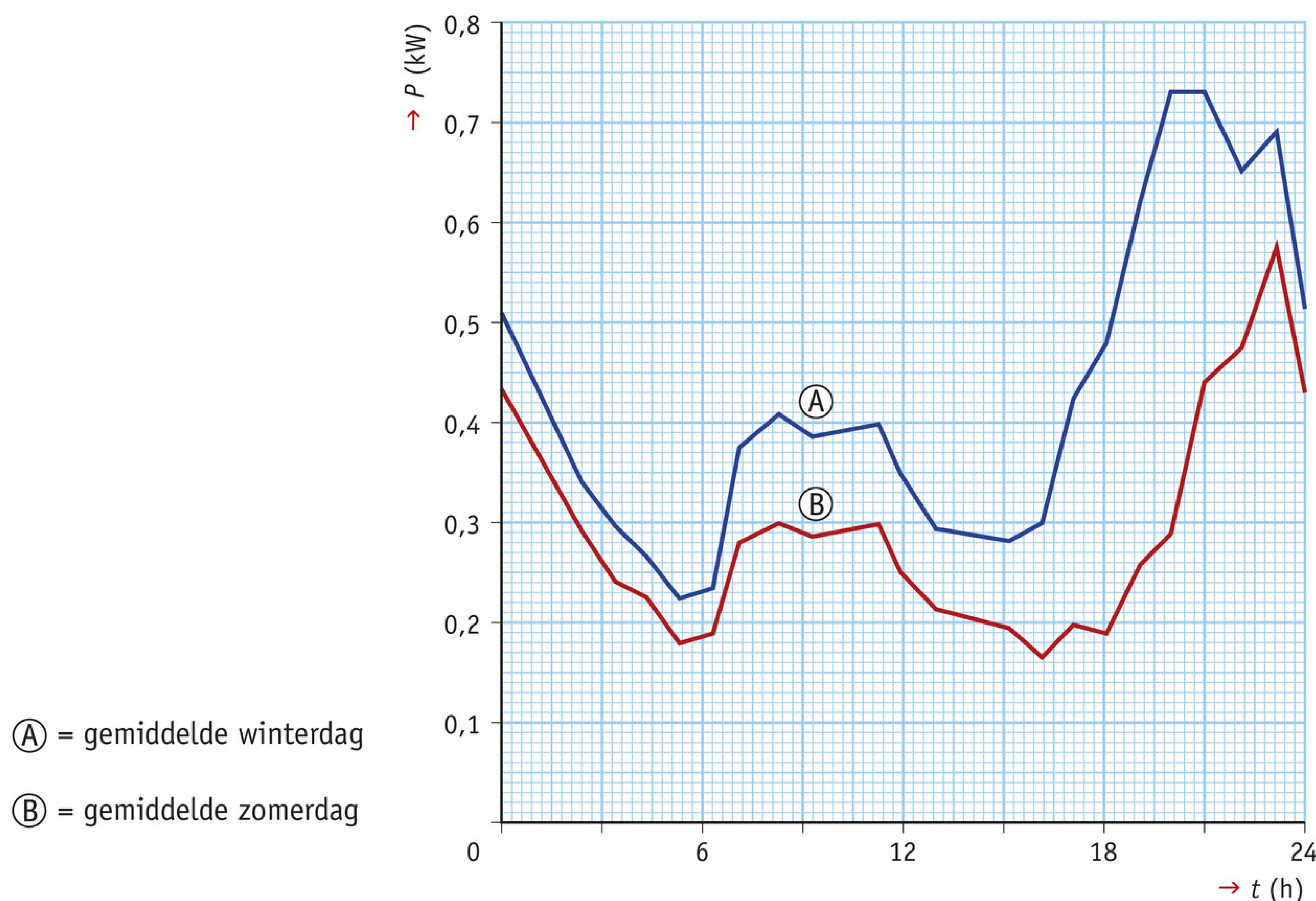
c De meeste windmolenparken werken gedurende het grootste deel van de dag ver onder hun piekvermogen.
Leg uit waarom dat zo is.

5 In het woonhuis van een gemiddeld gezin staan altijd wel elektrische apparaten aan. Het vermogen van al deze apparaten samen noem je het totale aangesloten vermogen. In figuur 8 zie je hoe dit vermogen in de loop van de dag verandert.

a Op welk tijdstip wordt 's winters het grootste vermogen afgenomen? Hoe groot is dat vermogen?

b Op welk tijdstip wordt 's zomers het grootste vermogen afgenomen? Hoe groot is dat vermogen?

c Leg uit dat door het invoeren van de zomertijd minder elektrische energie wordt verbruikt.



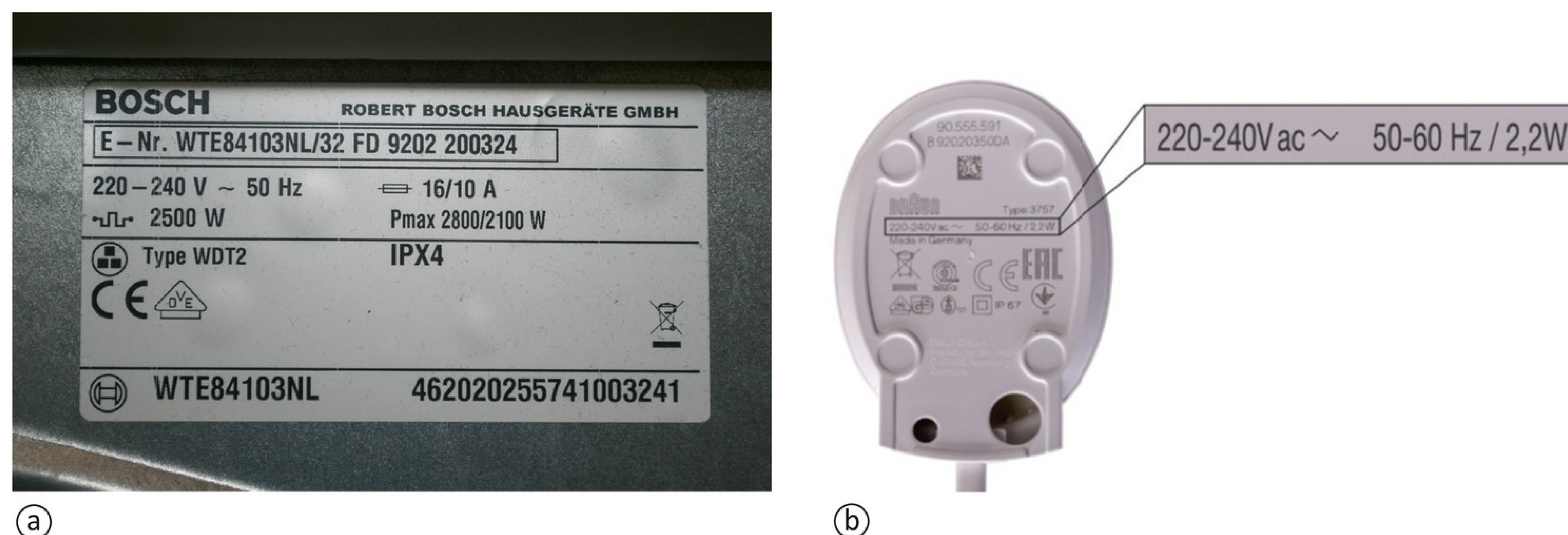
figuur 8 Het opgenomen vermogen gaat flink op en neer.

6 Figuur 9 geeft de typeplaatjes van een wasdroger (a) en een elektrische tandenborstel (b) weer.

a Zie de vaardigheid *Uitkomsten afronden*.
De wasdroger doet er 1,6 uur over om de was te drogen.
Bereken hoeveel elektrische energie daarvoor nodig is (in J en in kWh).

b Jan poetst 's ochtends 2,0 min lang zijn tanden. Als hij de tandenborstel op de oplader zet, heeft deze 6,0 minuten nodig om de tandenborstel weer op te laden.
Bereken hoeveel elektrische energie daarvoor nodig is (in J en in kWh).

figuur 9 Typeplaatjes van een wasdroger (a) en een elektrische tandenborstel (b).



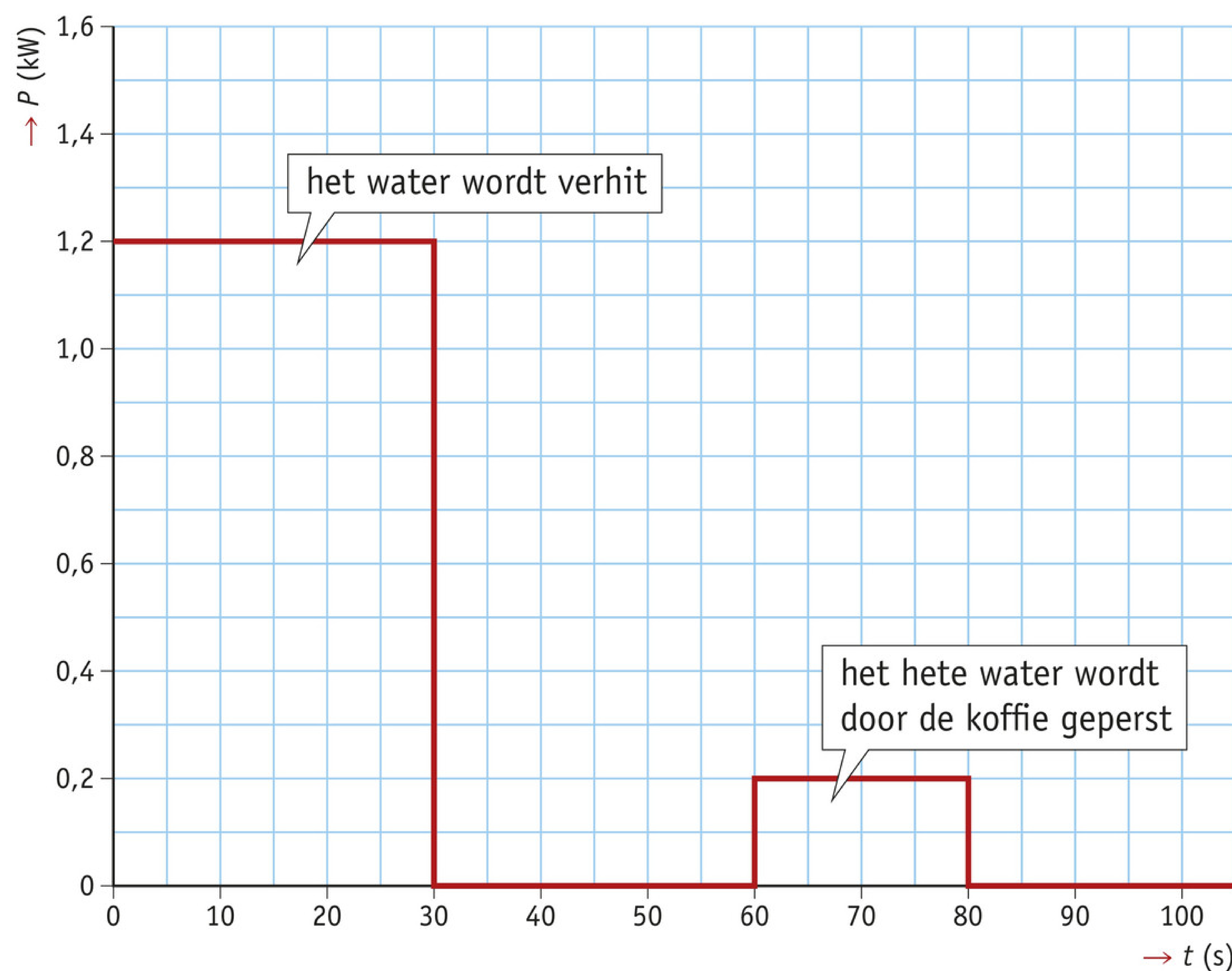
c Als je een elektrisch apparaat aanschaft, kan het vermogen een rol spelen.
Bij welk apparaat moet je daar zeker op letten: bij een wasdroger of bij een elektrische tandenborstel? Licht je antwoord toe.



Meer oefening nodig met *Rekenen met elektrisch vermogen*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.

Ga er bij de volgende opdrachten van uit dat 1 kWh elektrische energie € 0,23 kost (prijspeil 2019).

7 Met een koffiecupmachine kun je snel een espresso maken. Eerst maakt zo'n machine de juiste hoeveelheid water heet. Daarna wordt het hete water onder hoge druk door een koffiecup geperst. In figuur 10 kun je zien hoe het vermogen daarbij omhoog- en omlaaggaat. Bereken met de gegevens in de figuur hoeveel elektrische energie er nodig is om één kopje koffie te zetten.

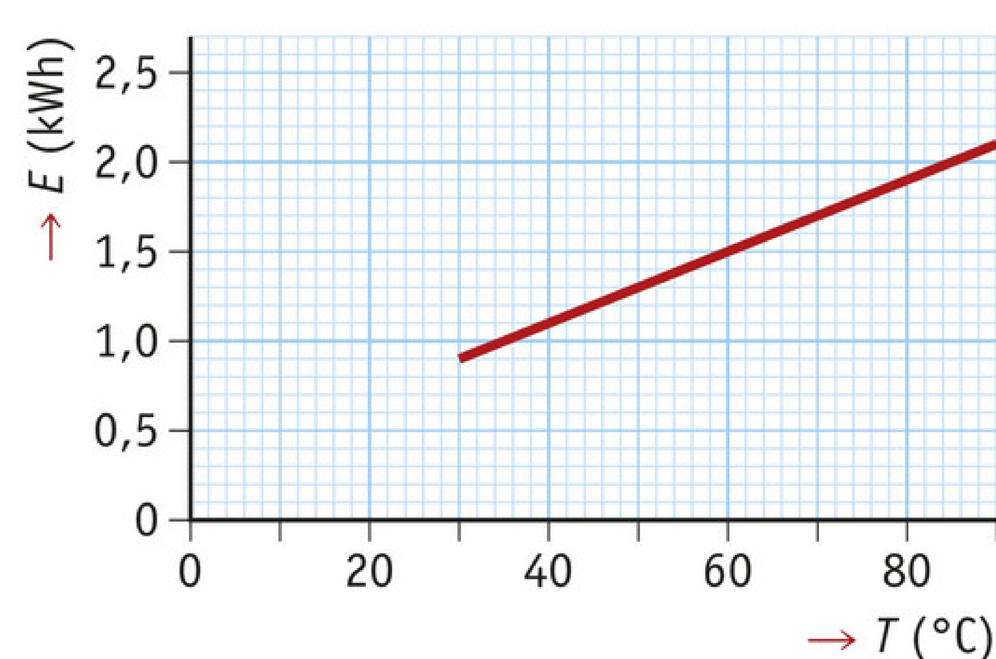


figuur 10 Het (*P*,*t*)-diagram van een koffiecupmachine.

★ 8 Fatima wast haar kleren in twee wasbeurten per week. Ze stelt de wasmachine daarbij in op 60 °C. In figuur 11 is het energieverbruik per wasbeurt van haar wasmachine uitgezet tegen de temperatuur van het waswater.

a Bereken hoeveel elektrische energie de wasmachine in één jaar verbruikt.

b Fatima wil bezuinigen op haar energiekosten. Ze wast haar kleren voortaan op 30 °C. Bereken hoeveel geld Fatima daarmee per jaar bespaart.



figuur 11 Het energieverbruik per wasbeurt.

★ 9 Als Jacqueline geen tv kijkt, staat haar toestel altijd stand-by. Ze vraagt zich af of haar energierekening daarvan veel hoger wordt. Daarom meet ze het vermogen van haar tv in de stand-bystand: dat blijkt 4,0 W te zijn.

a Stel je voor dat het tv-toestel een heel jaar lang stand-by staat.
Bereken hoeveel elektrische energie het toestel in die tijd verbruikt.

b Bereken hoeveel die elektrische energie kost.

c De stand-bystand kost niet zoveel als je bij b hebt uitgerekend.
Leg uit of Jacqueline in werkelijkheid meer of minder geld kwijt is.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS ELEKTRISCHE ENERGIE OPSLAAN

10 Op de batterij van Esthers smartphone staan onder andere de volgende gegevens: 3,6 V/9,1 Wh. De batterij heeft een massa van 80 gram.

a Bereken de energiedichtheid van de batterij in Wh/kg.

b De smartphone van Esther is bij veelvuldig gebruik na zes uur leeg.
Bereken de stroomsterkte die de batterij (gemiddeld) heeft geleverd. Ga hierbij uit van een constante batterijspanning van 3,6 V en gebruik het gegeven dat 9,1 Wh overeenkomt met $3{,}3 \cdot 10^4$ J.

★ 11 Arvid leest op internet een artikel over de 'Powerwall': een batterij die je thuis kunt plaatsen om de overtollige energie van zonnecellen in op te slaan. De lithium-ioncellen in de Powerwall hebben een totale massa van 115 kg. De energiedichtheid van de gebruikte cellen is 120 Wh/kg.

a Toon aan dat je 13,8 kWh energie in de Powerwall kunt opslaan.

b Door een inductiekookplaat loopt een stroom van 14 A als hij aanstaat op de maximale stand (bij een spanning van 230 V).
Bereken na hoeveel tijd (in uren) de opgeladen Powerwall-batterij leeg is als er verder geen apparaten in huis zijn ingeschakeld. Eventuele energieverliezen in het transport van energie tussen batterij en kookplaat mag je verwaarlozen.

3 Elektriciteit in huis

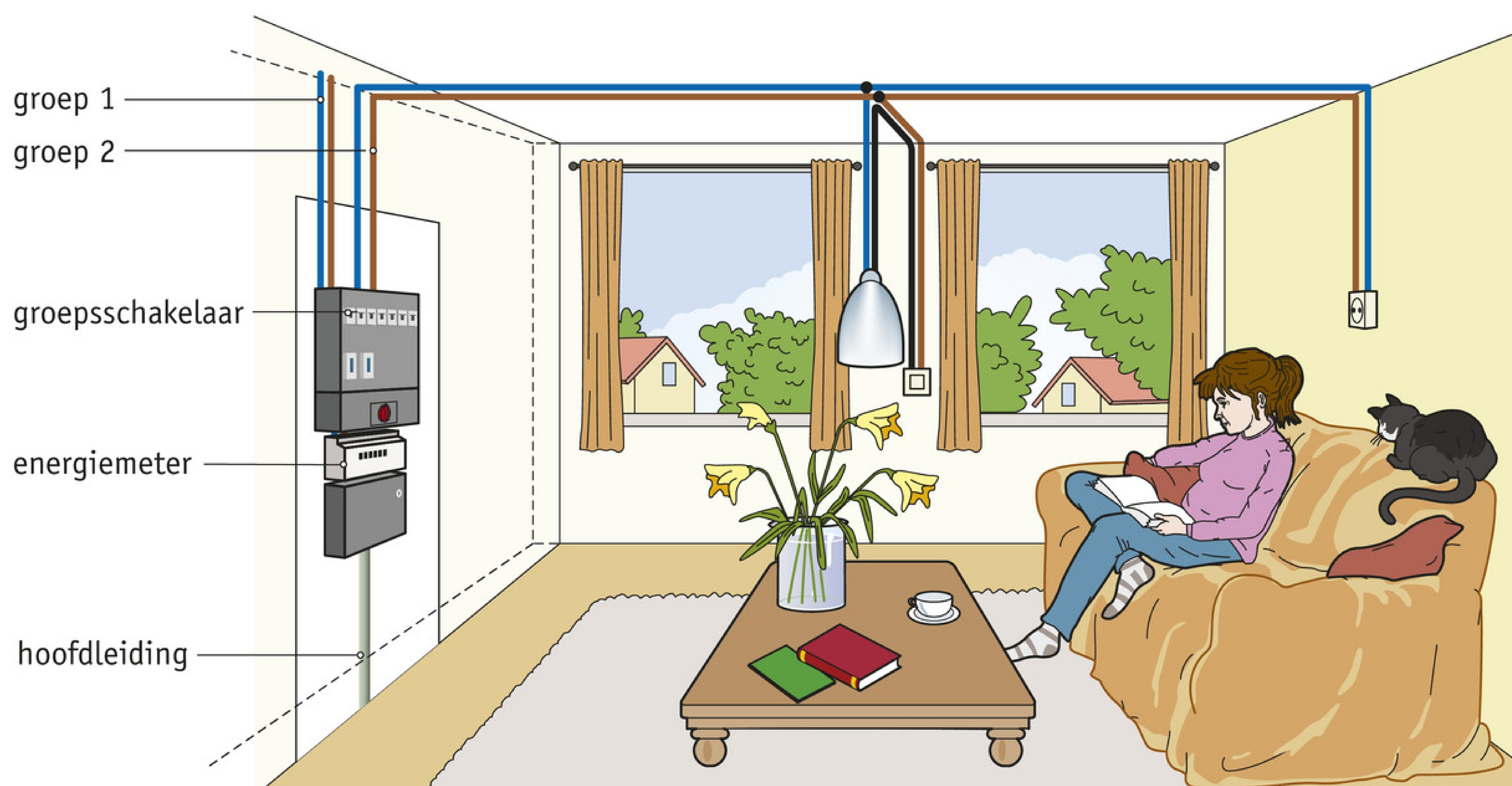
LEERDOELEN

1.3.1 Je kunt de totale stroomsterkte in een groep berekenen.
1.3.2 Je kunt het totale vermogen berekenen dat op een groep is aangesloten.
1.3.3 Je kunt berekenen of in een groep overbelasting optreedt.
1.3.4 Je kunt uitleggen wat wordt bedoeld met overbelasting en kortsluiting.
1.3.5 Je kunt de functie benoemen van de verschillende kleuren elektriciteitsdraden.
PLUS 1.3.6 Je kunt uitleggen welke factoren een rol spelen bij de overbelasting.

De lijst met bezigheden waarvoor je elektrische energie nodig hebt, is lang. Doe-het-zelven, eten koken, gamen, informatie zoeken, koffiezetten, muziek luisteren, tv-kijken, de was doen: zonder een constante aanvoer van elektrische energie begin je niets.

DE HUISINSTALLATIE

Door de muren en plafonds van een woonhuis loopt een netwerk van elektriciteitsdraden: de **huisinstallatie**. Daardoor kun je overal in huis gebruikmaken van elektrische energie. De hoofdleiding komt bij de voordeur het huis binnen. Na de energiemeter splitst de leiding zich in vier tot zes parallelle groepen. In figuur 1 zijn voor de duidelijkheid twee van die groepen getekend.



figuur 1 Een deel van de huisinstallatie.

Een groep bestaat uit een aantal parallel geschakelde vertakkingen die elk naar één stopcontact of één lichtpunt leiden. Dat betekent dat er op elk lichtpunt en elk stopcontact een spanning staat van 230 V. De spanning U is dus overal in de groep even groot:

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \ldots = 230 \text{ V}$$

Hierin is:

- U de spanning over de totale huisinstallatie in volt (V);
- U_1, U_2, U_3 de spanning over de eerste, tweede en derde vertakking in volt (V).

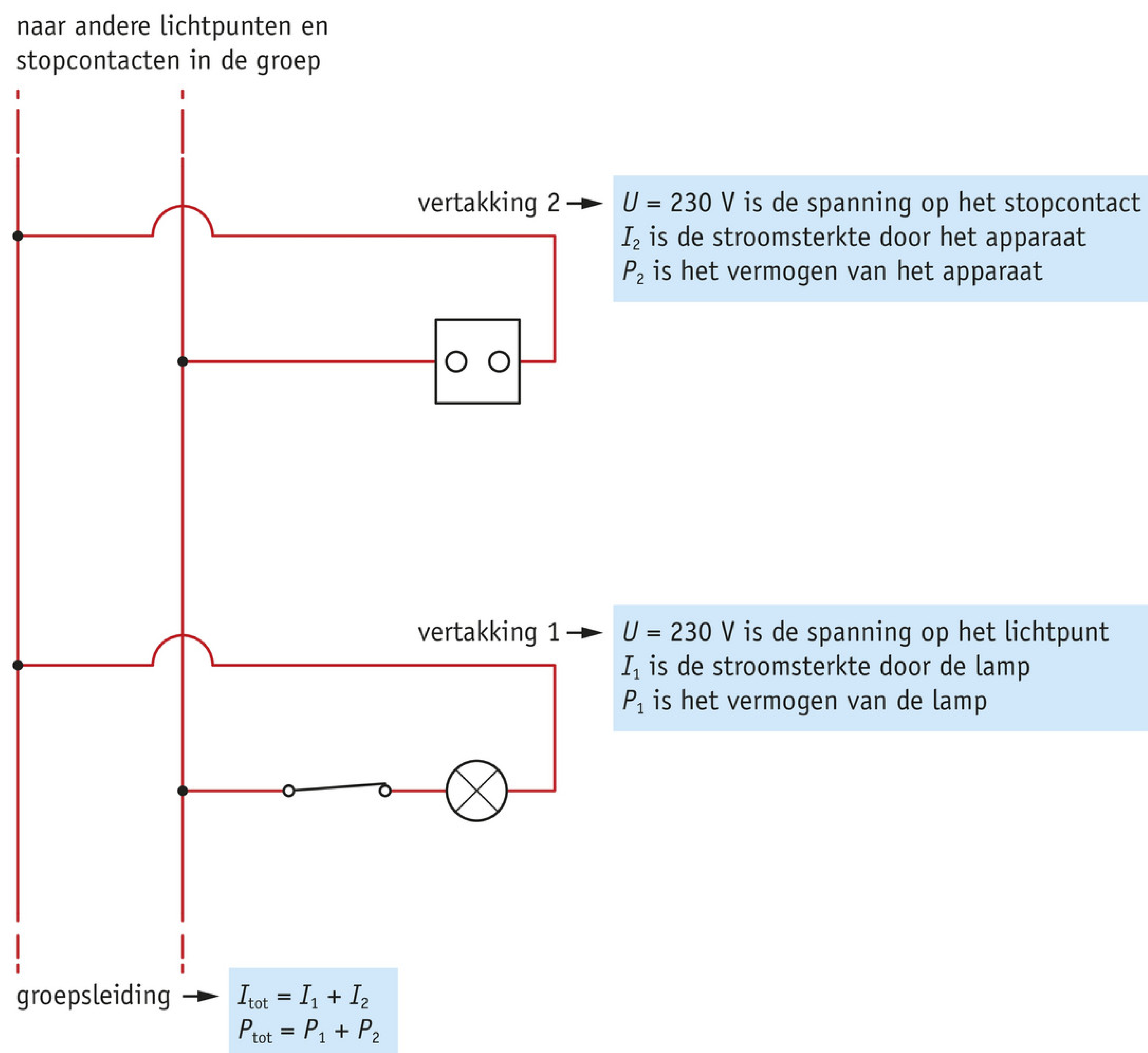
Elke groep heeft een eigen **groepsschakelaar** waarmee je de spanning van stopcontacten en lichtpunten kunt uitschakelen. Je kunt dan veilig een reparatie uitvoeren of een extra stopcontact aansluiten.

Als een apparaat aanstaat, loopt er stroom door de vertakking waarop het apparaat is aangesloten. Hoe groter het vermogen van het apparaat is, des te groter is de stroomsterkte. Als je de stroomsterkten in alle takken bij elkaar optelt, vind je de totale stroomsterkte I_{tot} in de groep. In formulevorm:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$$

Hierin is:
- I_{tot} de totale stroomsterkte door een groep in ampère (A);
- I_1, I_2, I_3 de stroomsterkte door de eerste, tweede en derde vertakking in ampère (A).

Zoals je ziet krijgt elke vertakking een eigen nummer. Door vertakking 1 loopt I_1, door vertakking 2 loopt I_2, enzovoort (figuur 2).



figuur 2 Alle lichtpunten en stopcontacten in een groep zijn parallel geschakeld.

HET TOTALE VERMOGEN

De apparaten die op een groep zijn aangesloten, staan bijna nooit allemaal tegelijk aan. Je kunt het totale vermogen P_{tot} (van de apparaten die aanstaan) berekenen met de formule:

$$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + ...$$

Hierin is:
- P_{tot} het totale vermogen van een groep in watt (W);
- P_1, P_2, P_3 het vermogen van het eerste, tweede en derde aangesloten apparaat in watt (W).

Als een apparaat van 15 W en een apparaat van 40 W tegelijk aanstaan, is het totale vermogen dus 55 W.

Met enig rekenwerk kun je nog een tweede formule voor P_{tot} afleiden:

$$\begin{aligned} P_{tot} &= P_1 + P_2 + P_3 + \ldots \\ &= U \cdot I_1 + U \cdot I_2 + U \cdot I_3 + \ldots \\ &= U \cdot (I_1 + I_2 + I_3 + \ldots) \\ &= U \cdot I_{tot} \end{aligned}$$

Je kunt het totale vermogen dus ook berekenen door de netspanning (230 V) te vermenigvuldigen met de totale stroomsterkte:

$$P_{tot} = U \cdot I_{tot}$$

Hierin is:
- P_{tot} het totale vermogen van een groep in watt (W);
- U de spanning in volt (V);
- I_{tot} de totale stroomsterkte door een groep in ampère (A).

VOORBEELDOPDRACHT 1

Op één groep van een huisinstallatie zijn de volgende apparaten aangesloten:
- een magnetron van 800 W
- een waterkoker van 2000 W
- een afzuigkap van 150 W
- zes ledlampen van elk 3,0 W

Bereken de totale stroomsterkte in de groep.

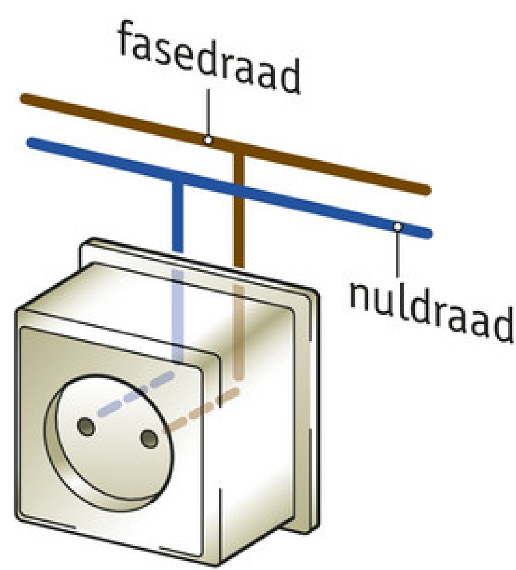
gegevens
$P_1 = 800$ W
$P_2 = 2000$ W
$P_3 = 150$ W
$P_4 = 6 \times 3{,}0 = 18$ W
$U = 230$ V

gevraagd
$I_{tot} = ?$

uitwerking
$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$
$P_{tot} = 800 + 2000 + 150 + 18 = 2968$ W
$I_{tot} = \dfrac{P_{tot}}{U} = \dfrac{2968}{230} = 13$ A

FASEDRAAD EN NULDRAAD

Elk stopcontact is verbonden met twee draden (figuur 3). Deze draden hebben een kern van koper met daaromheen een isolatielaag van kunststof. Als alles juist is aangesloten, is de bruine draad de **fasedraad** en de blauwe draad de **nuldraad**.

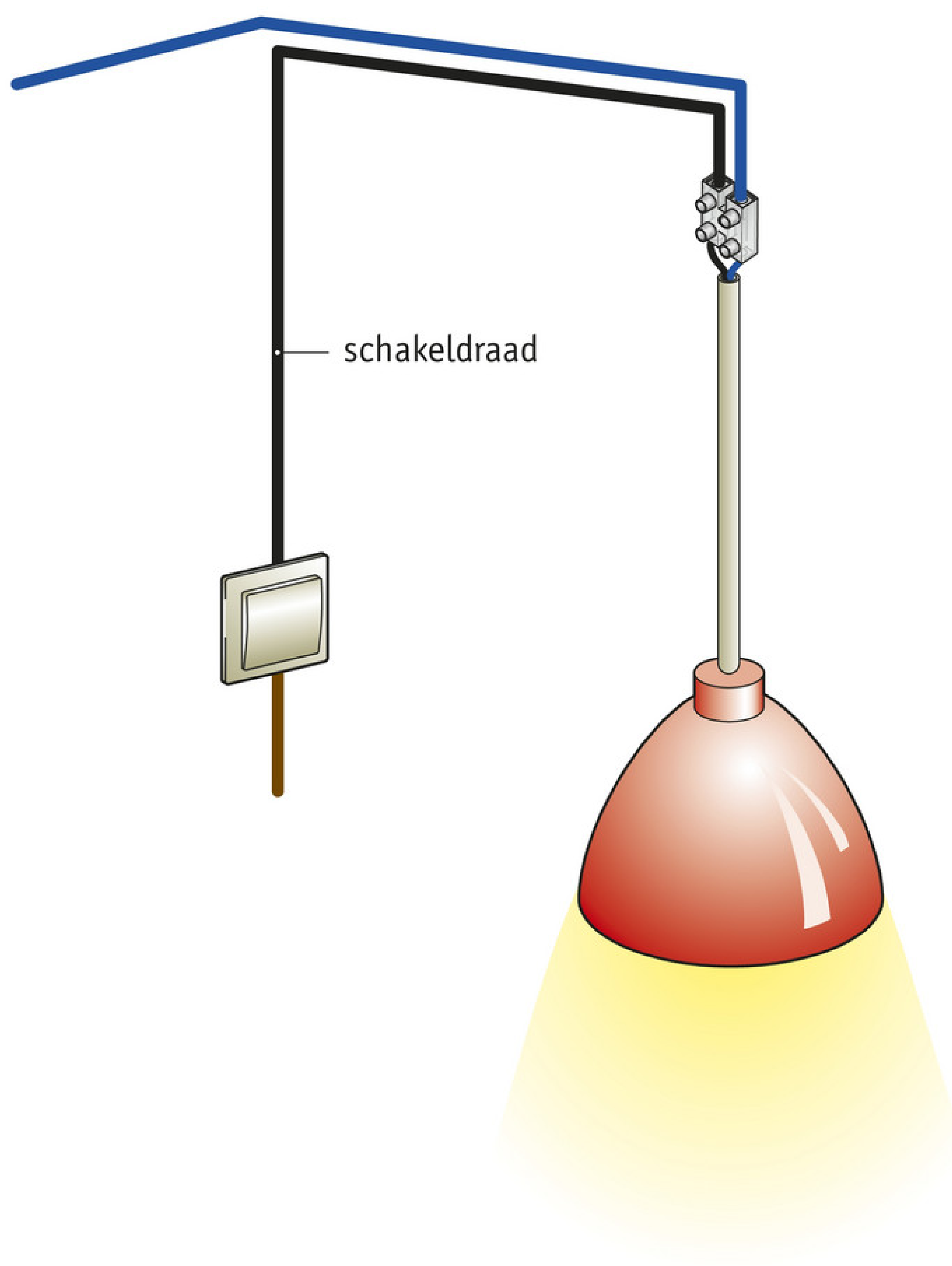


figuur 3 Zo wordt een stopcontact aangesloten.

Op de (bruine) fasedraad staat een wisselspanning van 230 V. Je moet het koper van deze draad niet aanraken. Als je dat wel doet, loopt er stroom door je lichaam en krijg je een schok. Op de (blauwe) nuldraad staat geen spanning. Deze draad maakt alleen de stroomkring af die terugloopt naar de groepenkast.

Als je de nuldraad aanraakt, voel je als het goed is niets. Toch moet je met een blauwe draad ook oppassen: iemand kan de bruine en de blauwe draad per ongeluk hebben omgewisseld. Schakel daarom altijd eerst de spanning in de meterkast uit voordat je een draad vastpakt.

In figuur 4 is getekend hoe een hanglamp wordt aangesloten. Naar een schakelaar loopt een bruine fasedraad. Van een schakelaar naar een lamp loopt een zwarte draad: de **schakeldraad**. Op de schakeldraad staat alleen spanning als de schakelaar in de AAN-stand staat. De tweede draad waar een lamp op is aangesloten is een blauwe nuldraad.



figuur 4 Zo wordt een lamp aangesloten.

OVERBELASTING

De totale stroomsterkte in één groep mag niet te groot worden; in woningen is deze waarde meestal 16 A. Groepen zijn beveiligd tegen een grotere stroomsterkte. Zolang de stroomsterkte onder die grens blijft, kunnen de leidingen de elektrische energie veilig vervoeren. Maar als de stroomsterkte stijgt tot (ver) boven 16 A, wordt het koperdraad in de leidingen heet en ontstaat er brandgevaar.

De stroomsterkte kan te groot worden doordat er in een groep te veel apparaten tegelijk worden aangezet. Dat noem je **overbelasting**. Om te bepalen of er kans bestaat op overbelasting kijk je naar het totale vermogen van de aangesloten apparaten. Zolang het totale vermogen niet hoger is dan 3,7 kW, kan er niets gebeuren. Ga maar na:

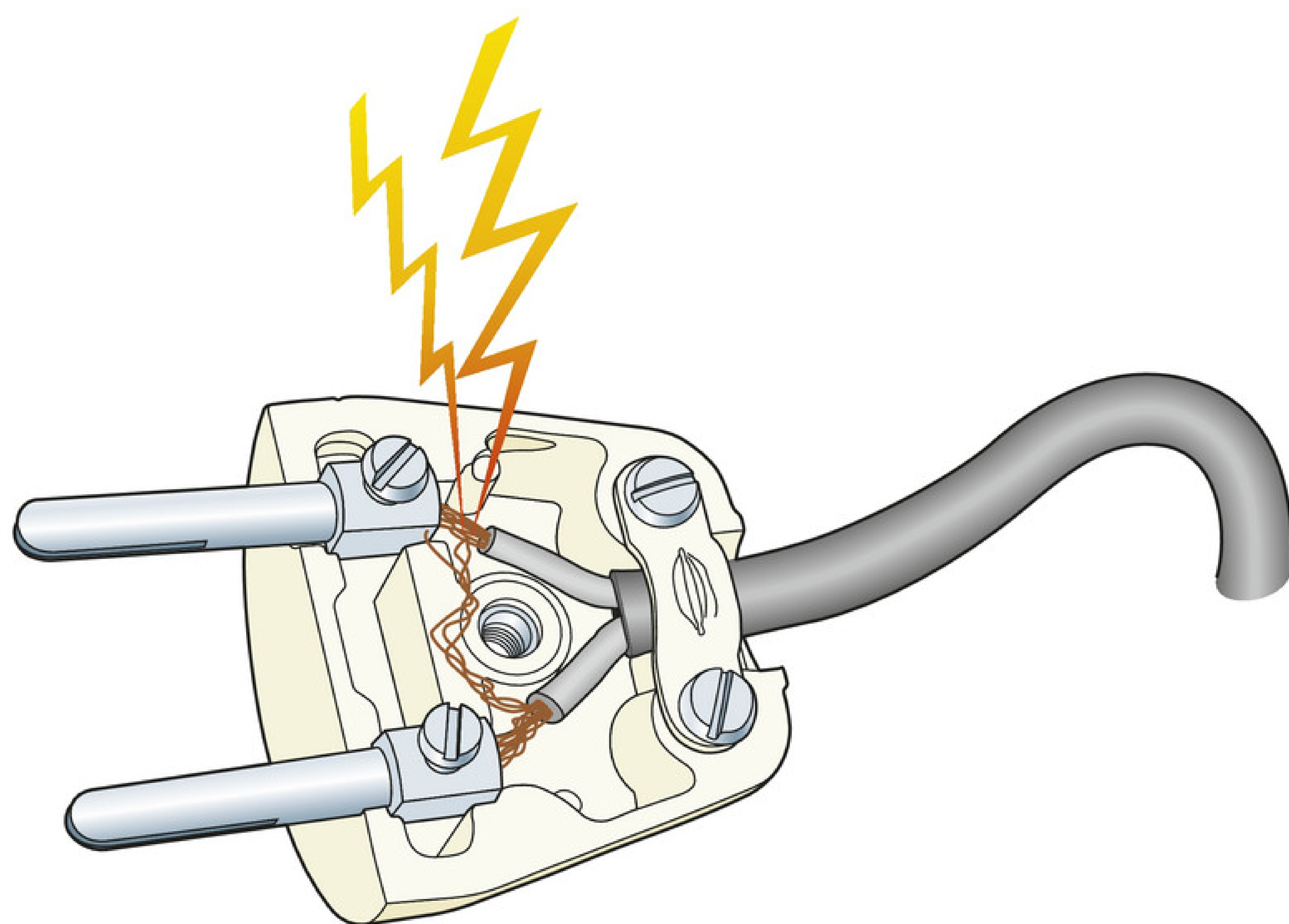
$P_{max} = U \cdot I_{max} = 230 \times 16 = 3680\ W = 3{,}7\ kW$

KORTSLUITING

Elektriciteitsdraden worden gemaakt van dik, goed geleidend koperdraad. De **weerstand** van deze draden is erg klein. Dat betekent dat de stroom er gemakkelijk doorheen gaat. Dat geldt ook voor het koperdraad in het snoer van een apparaat. De weerstand van een apparaat is veel groter. Daarmee vergeleken is de weerstand van de aansluitdraden te verwaarlozen.

In de praktijk bepaalt de weerstand van het apparaat dus hoe groot de stroomsterkte wordt. Bij een klein apparaat, zoals een elektrische wekker, is de stroomsterkte ongeveer 10 mA. Bij een groot apparaat, zoals een elektrische wasdroger, kan de stroomsterkte oplopen tot meer dan 10 A. Maar groter dan 16 A wordt de stroomsterkte door een apparaat dat je thuis gebruikt nooit, zolang het apparaat goed werkt.

Dat verandert als de stroom een andere weg, met een kleinere weerstand kan nemen. In dat geval ontstaat er **kortsluiting**. In figuur 5 zie je een voorbeeld. In de stekker raken de koperdraden elkaar. Daardoor ontstaat er een stroomkring met een erg kleine weerstand. Als je de stekker nu in het stopcontact steekt, wordt de stroomsterkte enorm groot, met alle gevolgen van dien.

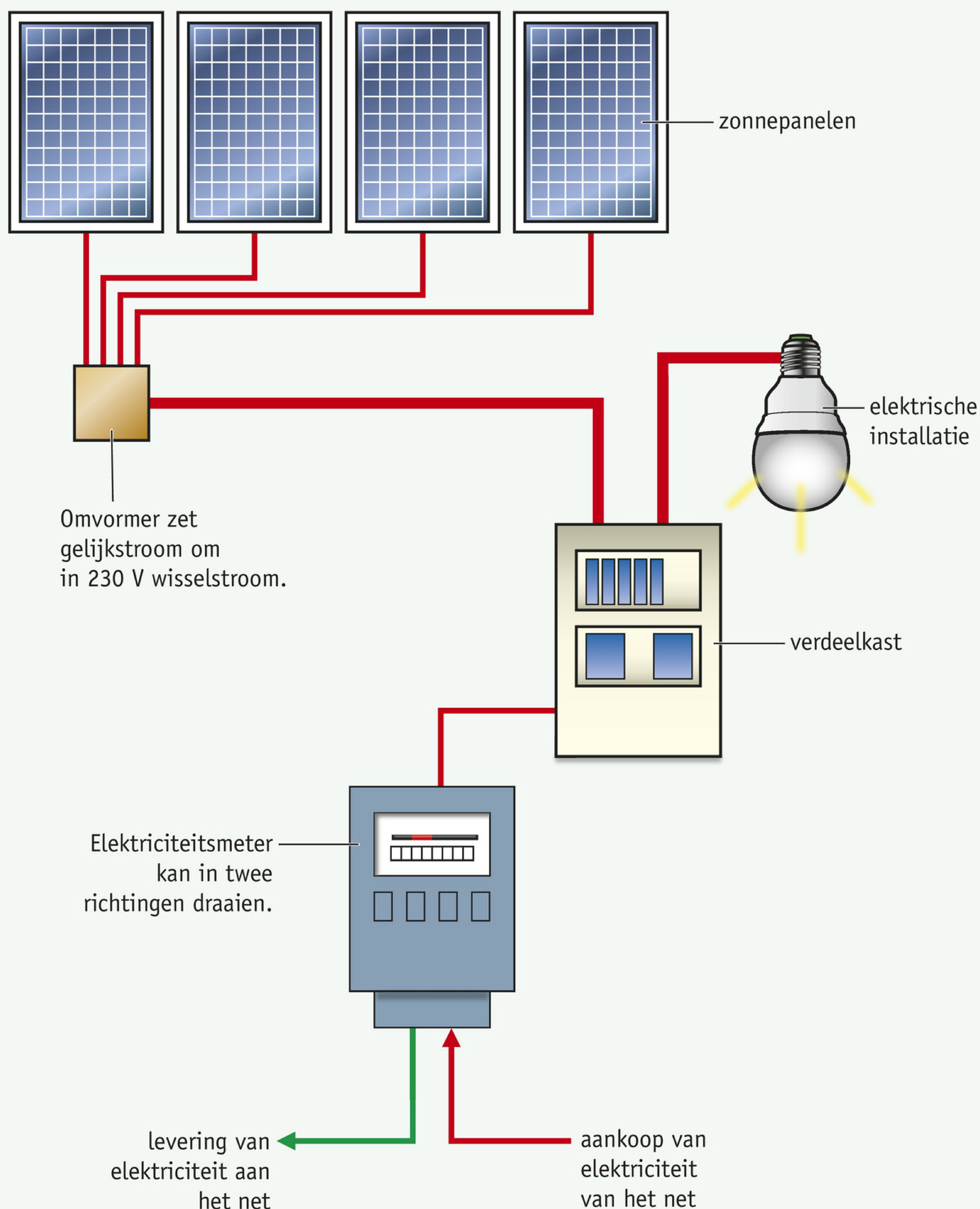


figuur 5 Als je deze stekker gebruikt, ontstaat er kortsluiting.

PLUS ZONNEPANELEN

Steeds vaker zie je op daken van huizen en bedrijven zonnepanelen liggen. Een zonnepaneel zet de stralingsenergie van de zon om in elektrische energie. In figuur 6 zie je hoe deze energie aan de huisinstallatie wordt geleverd: de zonnepanelen worden aangesloten op een omvormer die de gelijkspanning van de zonnepanelen omzet in een wisselspanning van 230 V. De stroom loopt daarna via een eigen groep naar een energiemeter. Van daaruit wordt de elektrische energie via de groepen over het huis verdeeld. Een overschot aan stroom kan vaak aan het lichtnet worden geleverd.

Net als bij het inschakelen van te veel elektrische apparaten kan er bij het leveren van elektrische energie van zonnepanelen overbelasting ontstaan in de huisinstallatie, of zelfs in het elektriciteitsnet. Een belangrijke eigenschap van een zonnepaneel is het vermogen dat het kan leveren. Internationaal is afgesproken dat het vermogen van een zonnepaneel wordt aangegeven in wattpiek, afgekort Wp. Je mag er bij berekeningen vaak van uitgaan dat dit het maximale vermogen is dat een zonnepaneel kan leveren.



figuur 6 Op deze manier zijn zonnepanelen in de huisinstallatie opgenomen.

Als het totale vermogen van de zonnepanelen op een zonnige dag te groot is, kan er overbelasting in de huisinstallatie ontstaan: de stroomsterkte die de panelen leveren wordt te groot en dat kan een onveilige situatie opleveren. In een gebied met een hoge dichtheid aan zonnepanelen kan er een nog groter probleem ontstaan: het elektriciteitsnet kan het overschot aan zonnestroom niet aan en raakt overbelast. Op dit moment wordt er dan ook hard gewerkt aan uitbreiding van de capaciteit van het elektriciteitsnet in die gebieden.



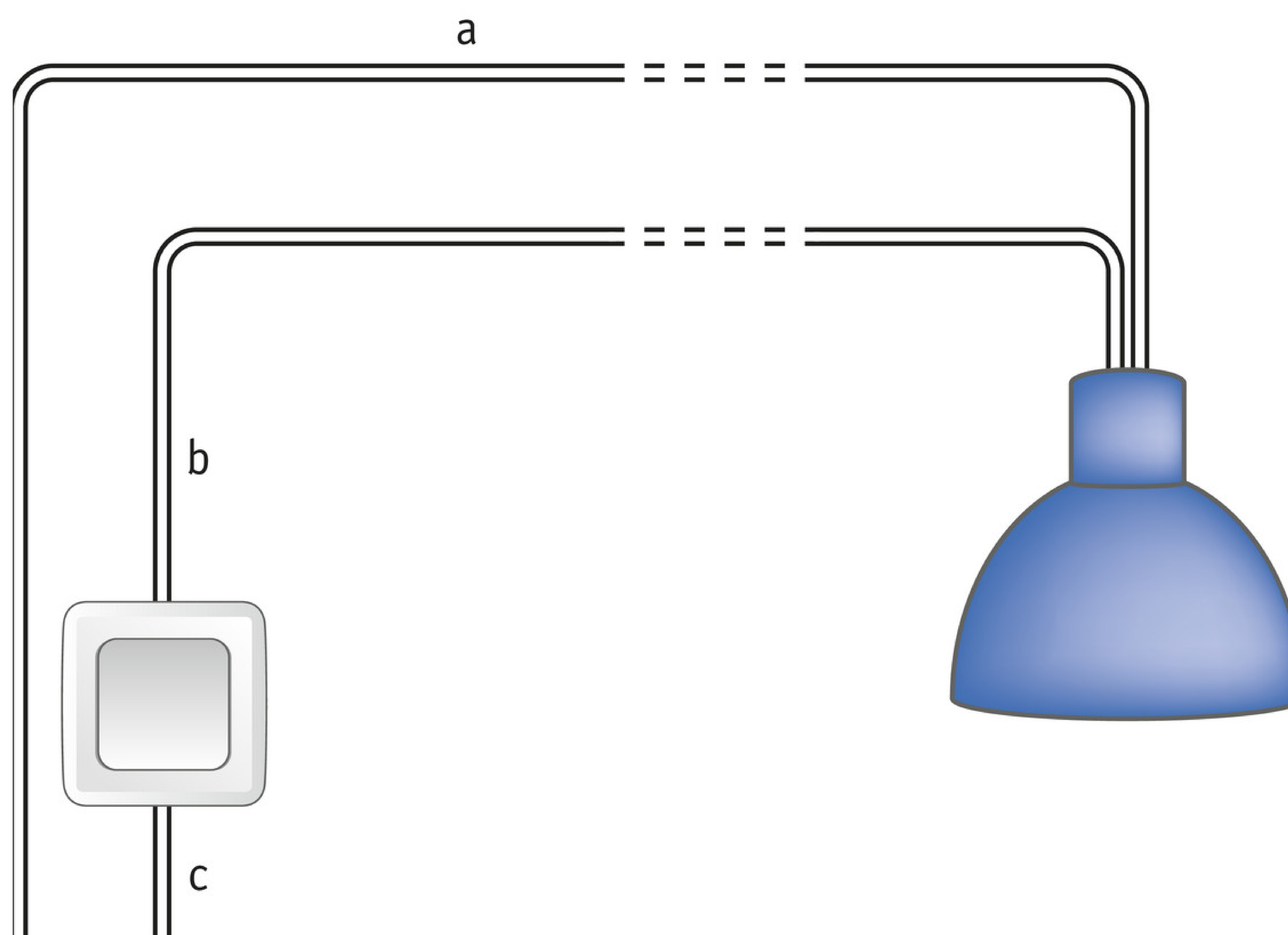
Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Met welke twee formules kun je de totale stroomsterkte in een groep berekenen?
b Wat zijn de verschillen tussen een fasedraad, een nuldraad en een schakeldraad?
c Hoe groot mag de (totale) stroomsterkte in een groep op zijn hoogst worden?
d Door welke twee oorzaken kan de stroomsterkte in een groep te groot worden?
e Leg uit wat er aan de hand is wanneer er in een apparaat kortsluiting ontstaat.

2 In figuur 7 zie je hoe een lamp op het lichtnet is aangesloten.
Welke letter staat bij welke draad?
Bij de fasedraad staat een *a* / *b* / *c*.
Bij de nuldraad staat een *a* / *b* / *c*.
Bij de schakeldraad staat een *a* / *b* / *c*.



figuur 7 Hoe is deze hanglamp aangesloten?

TOEPASSING

3 Apparaten zoals wasmachines, vaatwasmachines en elektrische fornuizen krijgen vaak een ‘eigen’ groep. In oudere huizen wordt daar soms een nieuwe groep voor aangelegd.

a Leg uit waarom zo’n apparaat een ‘eigen’ groep krijgt. Wat gaat er anders fout?

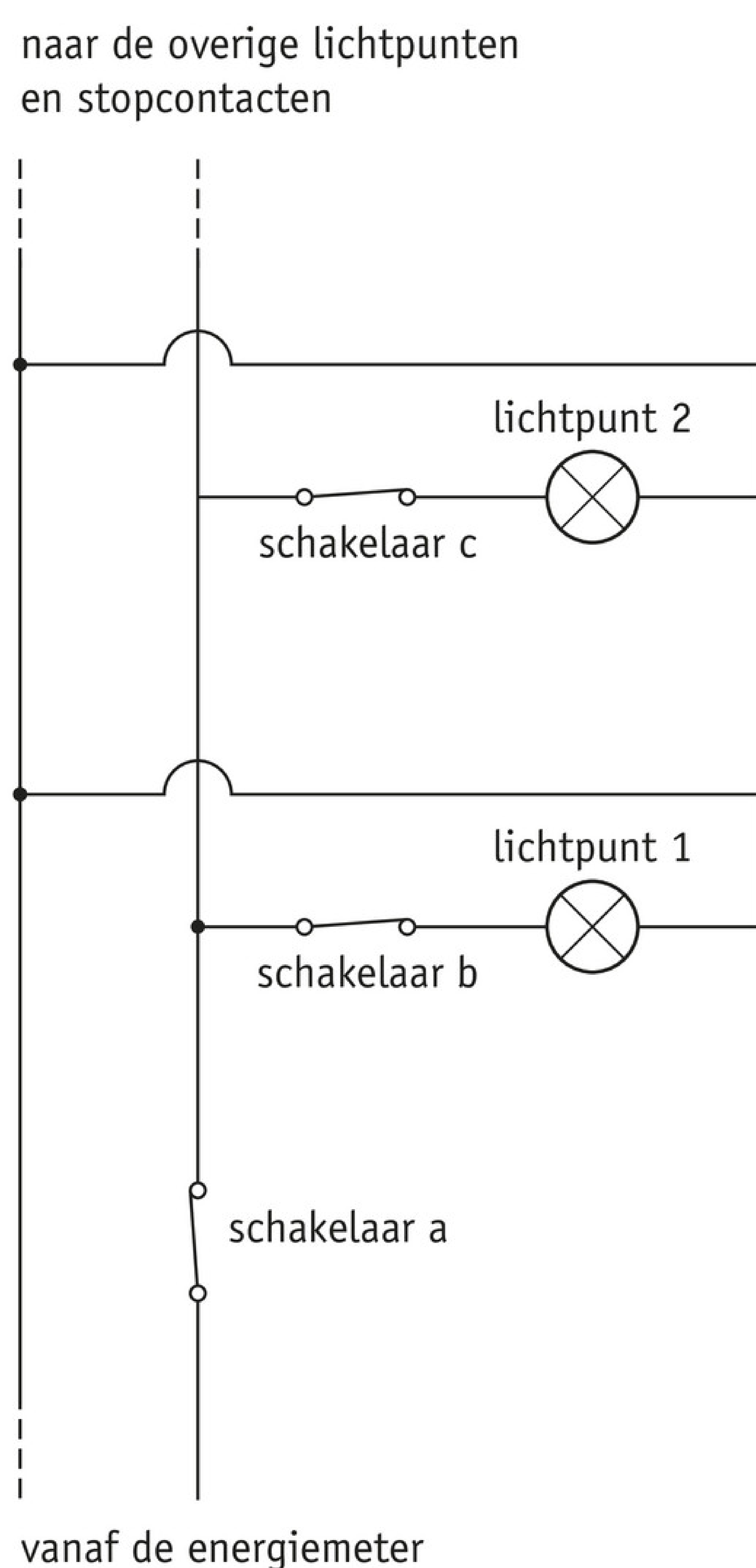
b Waarom is zo’n aparte groep niet nodig voor een broodrooster of sapcentrifuge?

4 In figuur 8 is een groep van een huisinstallatie getekend. Behalve twee lampen die op de groep zijn aangesloten, zie je ook drie schakelaars a, b en c.

a Welke van de drie schakelaars is de groepsschakelaar? Leg uit waaraan je dat kunt zien.

b Wat is de functie van de andere twee schakelaars?

c Geef in figuur 8 elke draad de juiste kleur: bruin, blauw of zwart.



figuur 8 Een groep van de huiscentrale.

5 Een hanglamp wordt meestal op een lichtpunt in het plafond aangesloten. In een doe-het-zelfboek wordt uitgelegd hoe je daarbij te werk moet gaan (figuur 9).

a In de tekst wordt een zwarte draad genoemd.

Je noemt deze draad een ....

b De andere aansluitdraad noem je de .... De kleur van deze aansluitdraad is ....

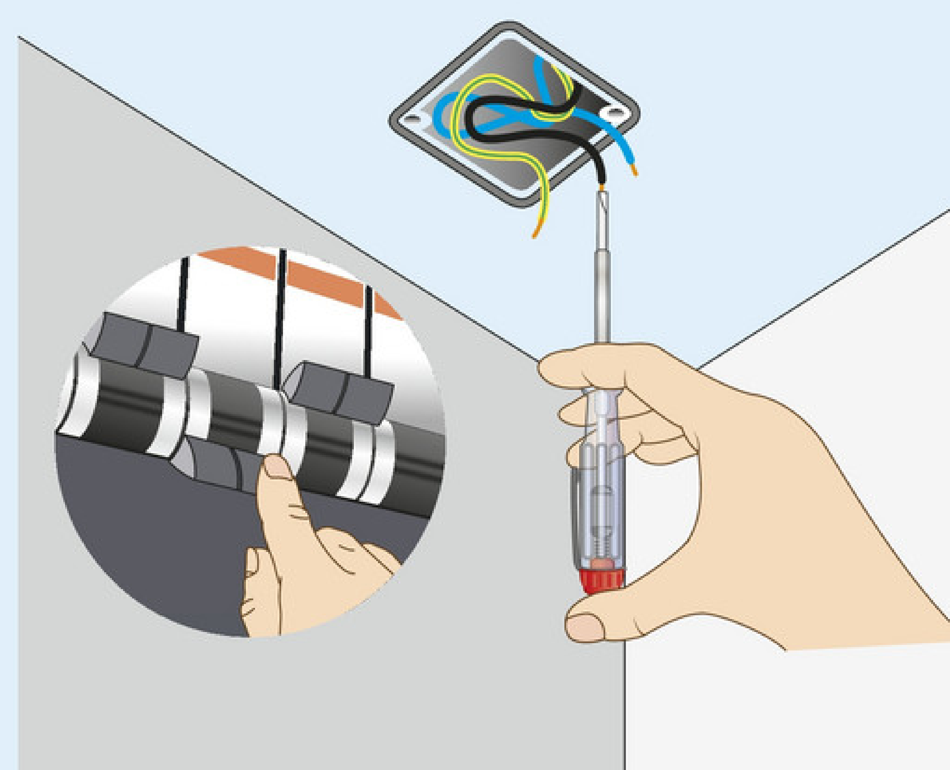
c Je kunt de spanning van de zwarte draad afhalen door de lichtschakelaar op UIT te zetten.
Leg uit waarom deze manier niet zo veilig is.

d Wat is een veiligere manier om de spanning van een lichtpunt of stopcontact uit te schakelen?

e Waarom is het verstandig dat je de meterkast daarna op slot doet en de sleutel meeneemt?

Veiligheid voor alles

- Voor u begint met het aansluiten van het snoer, zorgt u ervoor dat op de installatiedraden uit het plafond geen spanning staat. Dat kunt u controleren met een goed werkende spanningzoeker.
- Wanneer op de zwarte draad uit het plafond nog spanning staat, kunt u de draden spanningsloos maken door de bijbehorende lichtschakelaar om te zetten. Het is altijd veiliger om de desbetreffende groep in de meterkast uit te schakelen, de deur van de meterkast op slot te doen en de sleutel bij u te steken zolang u aan het werk bent.



figuur 9 Informatie uit een doe-het-zelfboek.

6 Op een groep van een huisinstallatie zijn de volgende apparaten aangesloten:
- een airfryer met een vermogen van 2100 W
- een ledlamp met een vermogen van 9,0 W en een ledlamp van 4,0 W
- een afzuigkap met een vermogen van 250 W
- een lcd-tv met een vermogen van 90 W

a Bereken hoe groot de totale stroomsterkte wordt als alle apparaten tegelijk aanstaan.
b Leg uit of de groep wordt overbelast als alle apparaten tegelijk aanstaan.

★ 7 In een heteluchtoven zit een verwarmingselement dat de lucht verhit (1450 W), een ventilator voor het verspreiden van de hete lucht (80 W) en een grill (1300 W).
Laat met een berekening zien of het nodig is dat deze heteluchtoven een eigen groep krijgt, waarop dus geen andere apparaten worden aangesloten.

★ 8 In een folder staat een advertentie voor een kabelhaspel (figuur 10). Daarin wordt ervoor gewaarschuwd dat je de kabel voor een beperkt vermogen kunt gebruiken.
a Bereken hoe groot de maximale stroomsterkte is:
- als de kabel helemaal is afgerold;
- als de kabel nog op de haspel zit.

b Anne gebruikt de kabelhaspel om een haakse slijper op het lichtnet aan te sluiten. Door het vele gebruik is het typeplaatje afgesleten. Op het typeplaatje is alleen nog 8,7 A zichtbaar.
Leg uit wat er fout kan gaan als Anne de kabel niet eerst helemaal afrolt.
c Waaruit kun je afleiden dat het koperdraad van deze kabel ongeveer even dik is als het koperdraad in de huisinstallatie?



figuur 10 Een advertentie voor een kabelhaspel.

9 Sharoni gebruikt een spanningzoeker om na te gaan of er spanning op een stopcontact staat. In figuur 11 zie je hoe ze de rechter opening van het stopcontact test. Het neonlampje begint dan te branden.

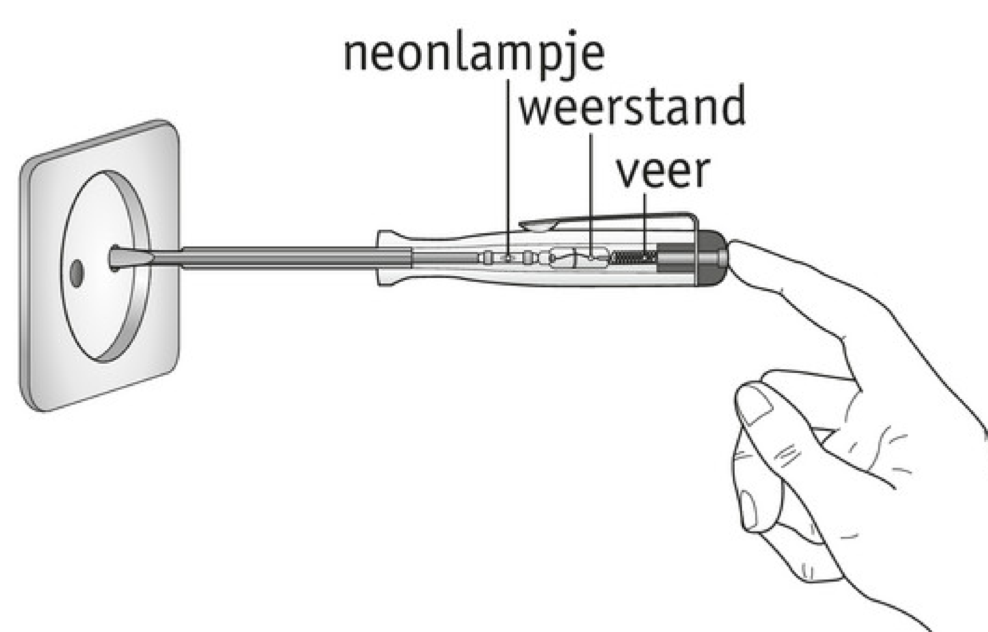
a Leg uit of de spanningzoeker contact maakt met de fasedraad of met de nuldraad.

b Gaat het neonlampje ook branden als Sharoni de spanningzoeker in de linker opening steekt? Hoe komt dat?

c Sharoni doet nu een experiment. Ze steekt in beide openingen van het stopcontact een spanningzoeker en drukt met haar wijsvinger en middelvinger op de twee spanningzoekers.
Welke bewering over het lampje van de spanningzoeker in de linker opening van het stopcontact is juist?

- ○ A Het lampje blijft uit, want er staat geen spanning op de rechter opening.
- ○ B Het lampje blijft uit, want Sharoni heeft geen stroomkring gemaakt.
- ○ C Het lampje gaat aan, want Sharoni heeft nu een stroomkring gemaakt.
- ○ D Het lampje gaat aan, want de spanning staat nu ook op de rechter opening.

d De spanningzoeker is gedeeltelijk van een isolerend materiaal gemaakt.
Kleur in figuur 11 de delen die de stroom niet geleiden, blauw.



figuur 11 Een spanningzoeker is in het stopcontact gestoken.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS ZONNEPANELEN

10 Esra wil zonnepanelen op haar dak plaatsen.

a De opbrengst van de zonnepanelen hangt behalve van het aantal en type zonnepanelen (aantal Wp) ook af van een aantal andere factoren. Noem er twee. Zoek het antwoord eventueel op internet op.
Op een internetsite leest Esra:

> Sluit u niet meer dan 4,50 kWp aan zonnepanelen aan? Dan kunt u de omvormer altijd zonder problemen op een vrije groep in uw meterkast aansluiten. In de groepenkast wordt dan een aardlekschakelaar van 20 A geplaatst. Uw omvormer levert niet meer dan 20 ampère. Deze omvormers kunt u altijd aansluiten, ongeacht de grootte van uw hoofdaansluiting. De hoofdaansluiting is namelijk altijd minimaal 1 × 25 A.
>
> Bron: www.bespaarbazaar.nl

De hoofdaansluiting is een extra zekering vóór de groepenkast waar alle stroom die het huis ingaat (of uitgaat als er stroom aan het lichtnet wordt geleverd), doorheen moet.

b Laat met een berekening zien dat de omvormer inderdaad nooit meer dan 20 A kan leveren.

c Op een andere website leest Esra echter dat de omvormer vaak wordt aangesloten op een aparte groep die met 16 A is gezekerd.
Bereken het maximale vermogen dat de omvormer in deze situatie mag leveren.

11 In een woonwijk worden de daken voorzien van zonnepanelen. Van de netbeheerder mogen de zonnepanelen in totaal een piekvermogen van 3,5 MW leveren. Dit piekvermogen wordt geleverd als de zon maximaal schijnt en de straling loodrecht invalt met een vermogen van 1000 W/m^2. De gebruikte zonnepanelen zetten 15% van de invallende stralingsenergie om in elektrische energie.

a Leg uit waarom de netbeheerder een bovengrens heeft gesteld aan het vermogen dat de zonnepanelen mogen leveren.

b Leg met een berekening uit hoeveel m^2 zonnepanelen op de daken van de woonwijk mogen worden geplaatst.

c In de wijk staan 1500 huizen.
Bereken hoeveel m^2 aan zonnepanelen je gemiddeld per huis kunt plaatsen.

4 Elektriciteit en veiligheid

LEERDOELEN

1.4.1 Je kunt uitleggen wat de gevaren van elektriciteit zijn.
1.4.2 Je kunt uitleggen wanneer een apparaat dubbel geïsoleerd moet zijn.
1.4.3 Je kunt uitleggen wat de functie van groepszekeringen en installatieautomaten is.
1.4.4 Je kunt de functie van een aardlekschakelaar uitleggen.
1.4.5 Je kunt de functie van randaarde beschrijven.
PLUS 1.4.6 Je kunt de natuurkundige principes uitleggen die een rol spelen bij de werking van een aardlekschakelaar.

In het ontwerp van een huisinstallatie staat de veiligheid voorop. De leidingen zijn goed beschermd tegen beschadigingen en degelijk geïsoleerd. Ook zijn er speciale veiligheidsvoorzieningen, zoals zekeringen en randaarde. Daardoor is de kans op ongelukken met elektriciteit erg klein, als je zelf ook voorzichtig bent.

GEVAREN VAN ELEKTRICITEIT

Het gebruik van elektrische energie brengt twee gevaren met zich mee.

- Als leidingen te veel stroom moeten verwerken kunnen ze zo heet worden dat er brand ontstaat. Dit gevaar kan ontstaan door overbelasting of door kortsluiting.
- Als je een geleidend voorwerp aanraakt waar een spanning op staat, krijg je een schok. Dat merk je als je schrikdraad rond een weiland aanraakt. Er loopt dan een stroomstoot met lage stroomsterkte door je lichaam en dat is geen prettig gevoel (figuur 1).



figuur 1 Als je schrikdraad aanraakt, trekken je spieren gedurende korte tijd sterk samen.

Als de stroom door je lichaam niet erg groot is, blijf je zelf de baas over je spieren. Je kunt het voorwerp dat onder spanning staat, meteen weer loslaten. Maar als de stroom groter is en niet meteen stopt, kunnen je spieren zich niet ontspannen. In dat geval kun je het voorwerp dat onder spanning staat niet meer loslaten. In tabel 1 zie je wat de gevolgen kunnen zijn.

Hoe groot de stroomsterkte wordt, hangt af van de spanning en van de weerstand van je lichaam. Je lichaam geleidt stroom vrij goed; je **lichaamsweerstand** is dus niet heel groot. De stroom ondervindt de grootste weerstand op de plaatsen waar hij het lichaam in- en uitgaat. Dit noem je de **contactweerstand**. Als je huid droog is, is de contactweerstand behoorlijk groot. Maar als je huid nat wordt, neemt de contactweerstand sterk af.

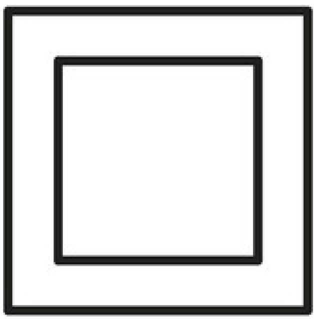
tabel 1 Het effect van stroom op je lichaam.

stroomsterkte	verschijnsel
0,5 – 5 mA	prikkelende ervaring, schrikbeweging
5 – 20 mA	pijnlijke spierkrampen
20 – 50 mA	spiersamentrekking, ook van de borstspier, ademhalingsproblemen
50 – 200 mA	hartproblemen, hartfibrillatie
200 mA – 1 A	vernietiging van weefsels, spieren en zenuwen
meer dan 1 A	levensgevaar, brandwonden, stolling van eiwitten

Bron: extranet.infopuntveiligheid.nl.

ENKELE EN DUBBELE ISOLATIE

De draden in de huisinstallatie hebben een kern van koperdraad. De dikte van dit koperdraad is zo gekozen dat stroom tot 16 A gemakkelijk wordt doorgelaten, zonder noemenswaardige warmteontwikkeling. Een isolatielaag van gekleurd vinyl of pvc zorgt ervoor dat je geen schok krijgt als je een draad vastpakt. De isolatie is ook nodig om kortsluiting te voorkomen.

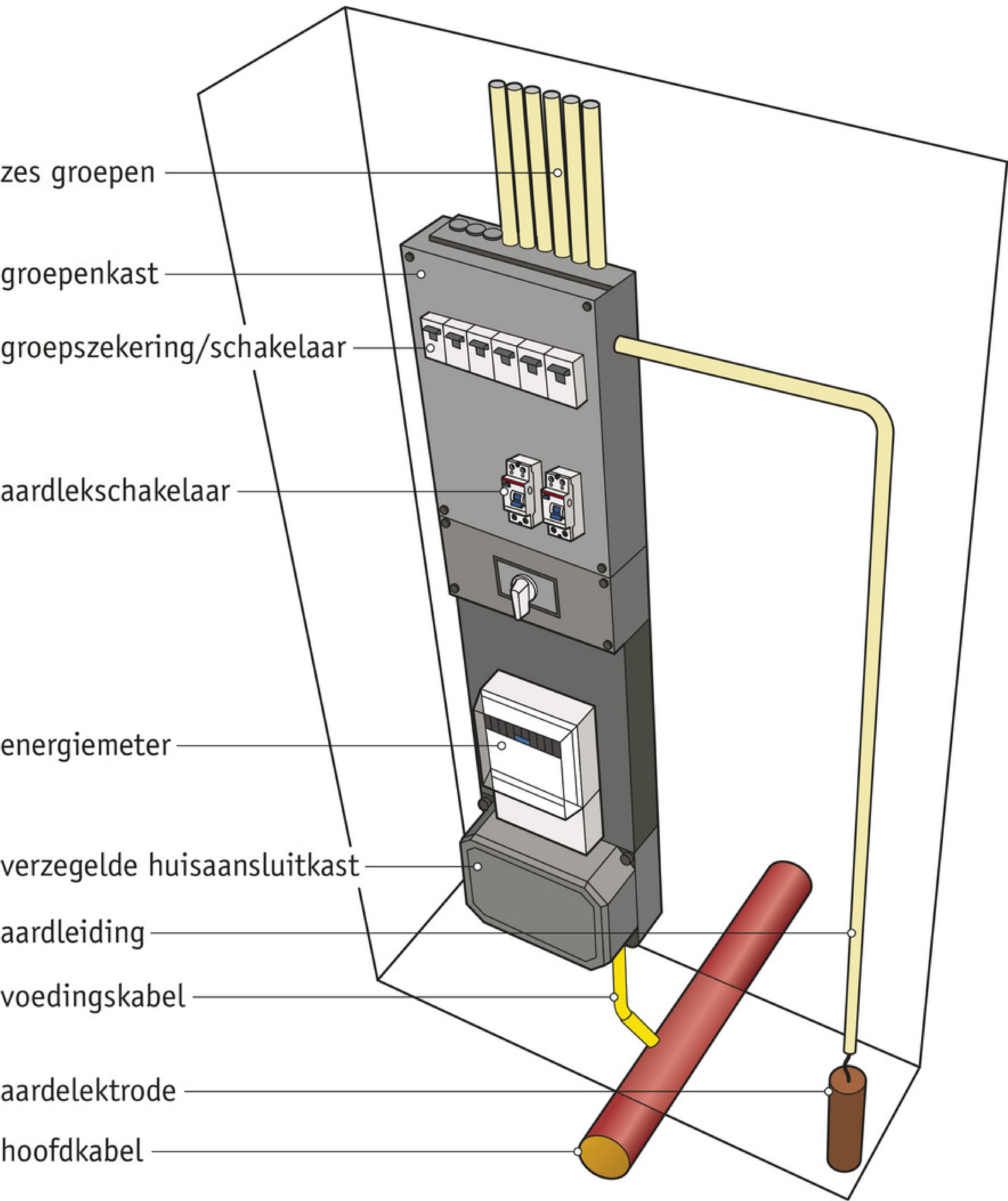


figuur 2 Het symbool voor dubbele isolatie.

Sommige elektrische apparaten worden dubbel geïsoleerd. De onderdelen waar de stroom doorheen loopt, zijn dan normaal geïsoleerd. Daarnaast is er nog een tweede isolatielaag. Meestal is de buitenkant van het apparaat dan van een niet-geleidende kunststof gemaakt. Een apparaat met **dubbele isolatie** kun je herkennen aan het symbool in figuur 2.

ZEKERINGEN

In de meterkast vind je verschillende veiligheidsvoorzieningen (figuur 3). Voor elke groep is er een eigen **groepszekering**. Als de stroomsterkte in een groep groter wordt dan 16 A, schakelt de groepszekering de stroom uit. De leidingen kunnen dan niet zo warm worden dat er brandgevaar ontstaat.



figuur 3 Dit vind je allemaal in de meterkast.

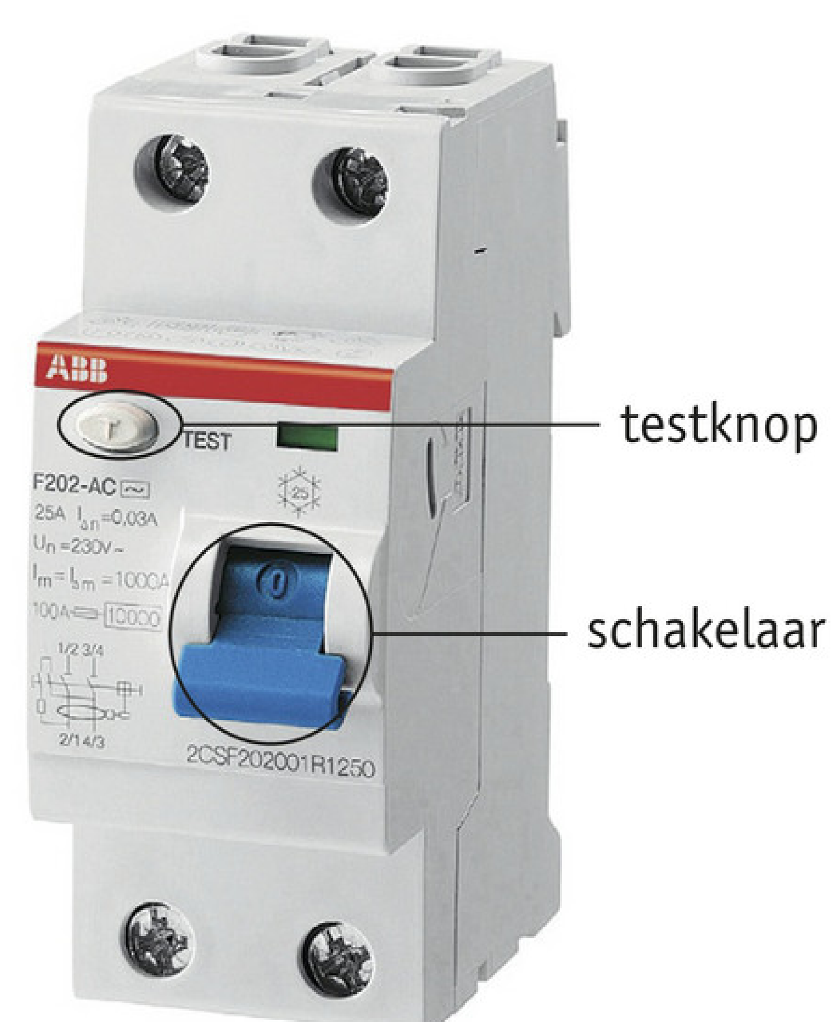
In een huisinstallatie worden elektronische zekeringen gebruikt, die **installatieautomaten** worden genoemd. Zo'n installatieautomaat heeft een hefboompje dat 'omklapt' als de stroom wordt uitgeschakeld (figuur 4). Zo zie je meteen in welke groep de storing zit. Als de storing is opgelost, kun je de stroom weer inschakelen door het hefboompje over te halen.



figuur 4 Een rij installatieautomaten.

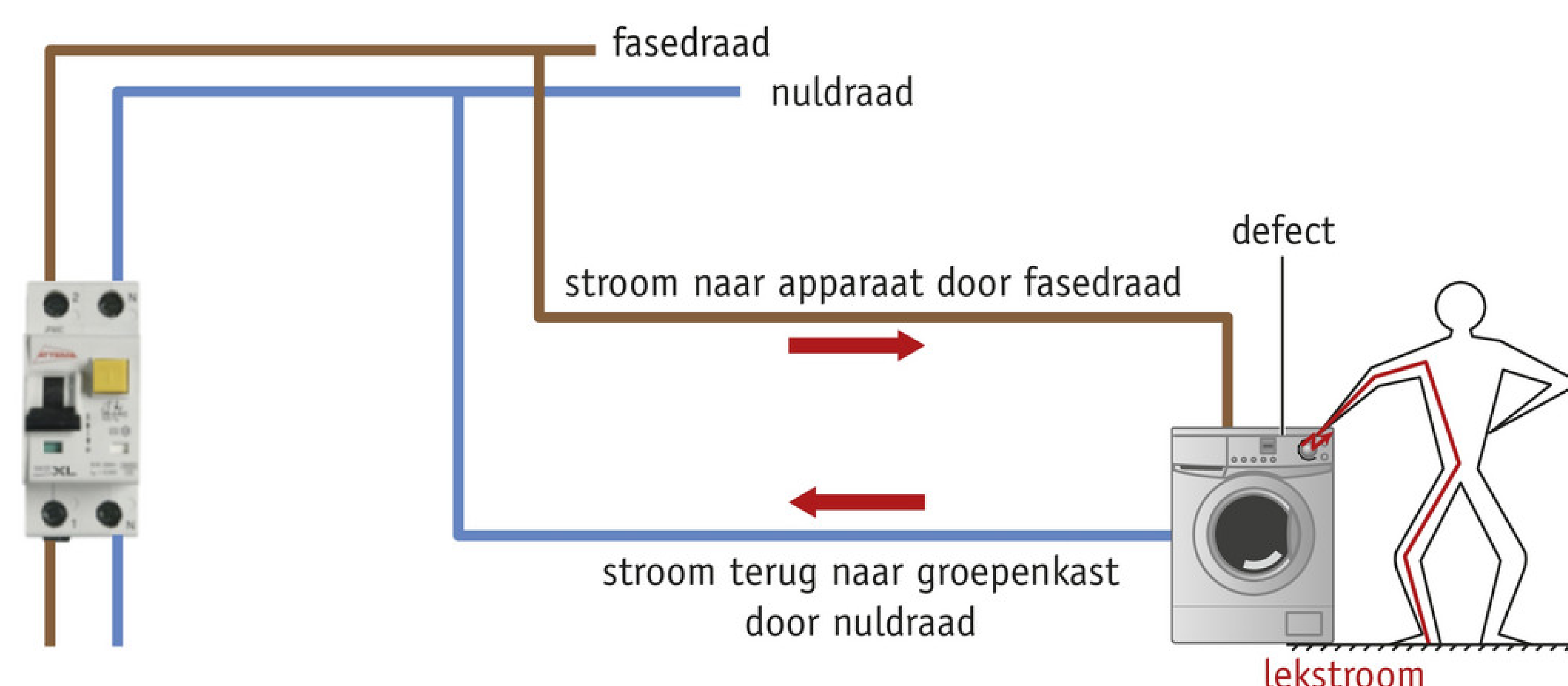
AARDLEKSCHAKELAAR

In de meterkast vind je behalve zekeringen ook een of meer **aardlekschakelaars** (figuur 5). Een aardlekschakelaar vergelijkt de stroomsterkte in de fasedraad (bruine kleur) met de stroomsterkte in de nuldraad (blauwe kleur). Zolang de twee stroomsterkten even groot zijn – zoals gewoonlijk – laat de aardlekschakelaar de stroom gewoon door.



figuur 5 Met de testknop kun je controleren of de aardlekschakelaar goed werkt.

In figuur 6 is een situatie getekend waarin de beide stroomsterkten verschillend zijn. De metalen buitenkant van het apparaat staat onder spanning door een defect in de isolatie. Daardoor 'lekt' er stroom weg als iemand het apparaat aanraakt. De stroomsterkte in de nuldraad is nu kleiner dan die in de fasedraad.

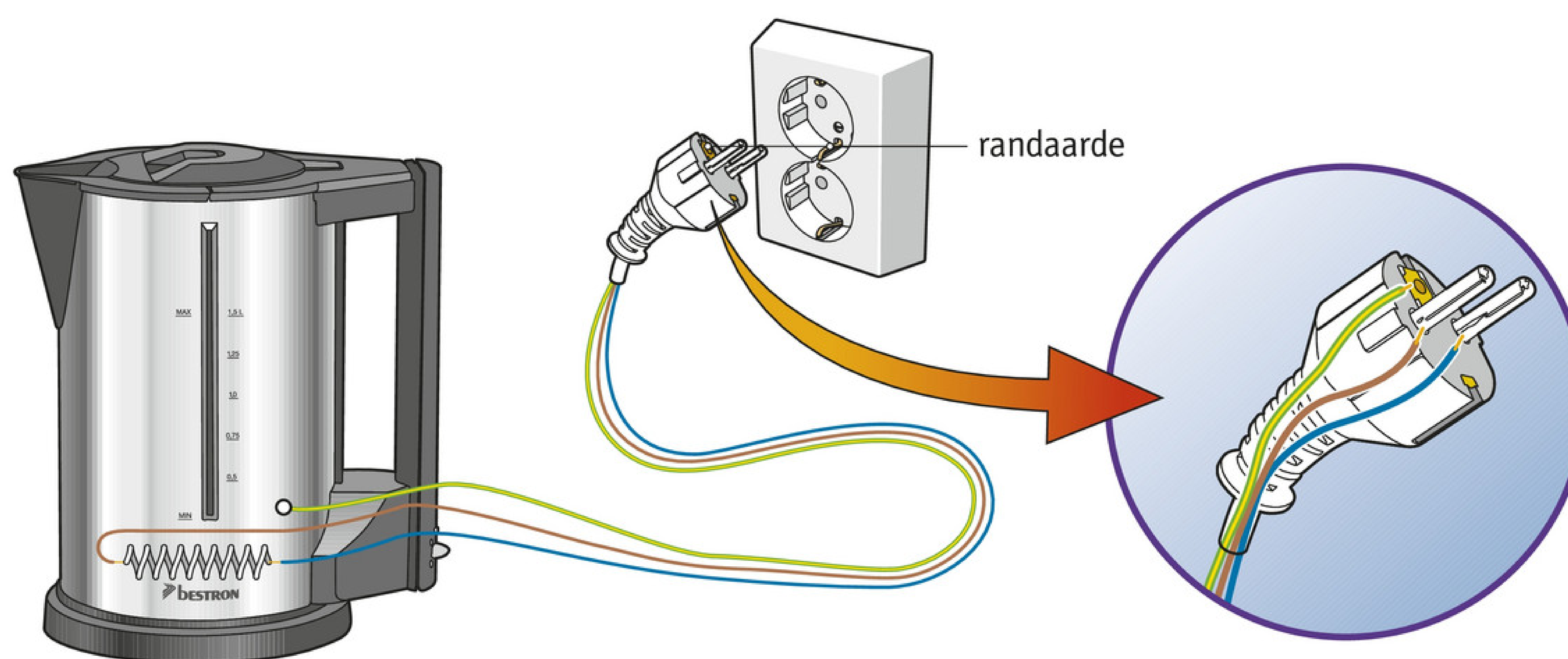


figuur 6 Bij een lekstroom schakelt de aardlekschakelaar de spanning uit.

Als het verschil in stroomsterkte groter wordt dan 30 mA, schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit. Er kan dan geen stroom meer weglekken via je lichaam of via een andere weg. Als je het apparaat aanraakt, krijg je dus wel een schok, maar daar blijft het bij: bijna op hetzelfde moment valt de stroom uit.

RANDAARDE

Je wilt niet dat de lekstroom via iemands lichaam loopt. Dat is de reden waarom apparaten vaak worden geaard. Er loopt dan een groengele **aarddraad**, die contact maakt met de buitenkant van het apparaat, via het snoer naar de rand van het stopcontact, de randaarde (figuur 7). Vanaf het stopcontact loopt de aarddraad verder naar de aardleiding in de meterkast. Die is weer verbonden met een aardelektrode, een metalen pin die diep in de bodem is geslagen.



figuur 7 Zo wordt een waterkoker geaard.

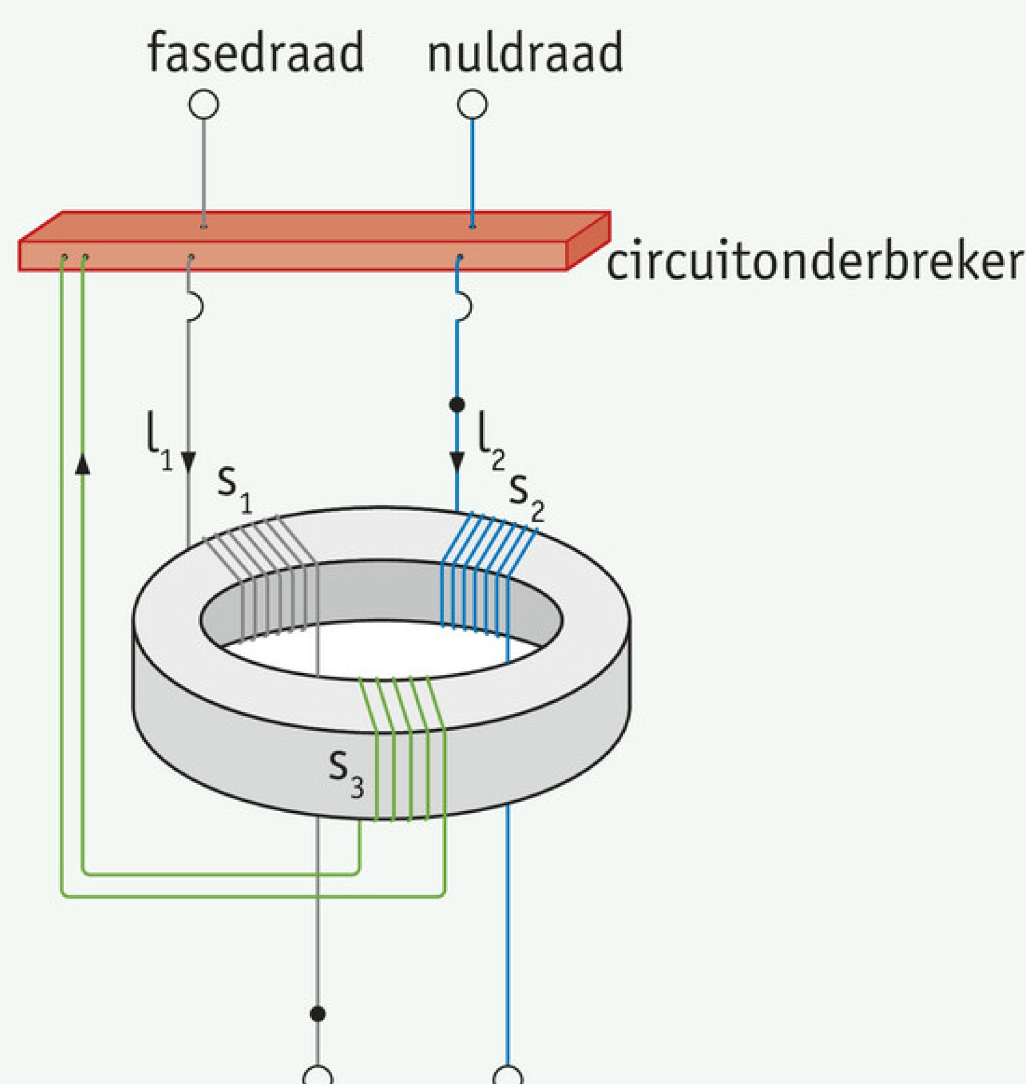
Als de metalen buitenkant van het apparaat onder spanning komt te staan, loopt er via de aarddraad een flinke lekstroom naar de aarde. Dat zorgt ervoor dat de aardlekschakelaar meteen de stroom uitschakelt. Dat gebeurt dus al voordat iemand het apparaat kan aanraken.

Toen er nog geen aardlekschakelaars waren, bestond de veiligheidsvoorziening uit een groepszekering die doorsloeg. Dat ging lang niet altijd goed; bij een kleine lekstroom bleef de totale stroom door de zekering onder de 16 A en dan gebeurde er niets. Een aardlekschakelaar onderbreekt de stroomkring al bij een lekstroom van 30 mA. Dat zorgt voor extra veiligheid, die een zekering je niet kan geven.

PLUS DE WERKING VAN EEN AARDLEKSCHAKELAAR

In figuur 8 zie je een schematische voorstelling van de werking van een eenvoudig type aardlekschakelaar. De fasedraad en nuldraad zijn elk verbonden met een spoel (S_1 en S_2). Net zoals bij de primaire spoel in een transformator geldt hier: een stroom door een spoel wekt een magneetveld op. De stroom door de fasedraad I_1 is normaal gesproken even groot als de stroom door de nuldraad I_2, waardoor ook beide magneetvelden even groot zijn. De spoelen zijn zo gewonden dat de beide magneetvelden tegengesteld zijn en elkaar dan opheffen. Doordat er geen netto magnetisch veld is, loopt er ook geen stroom door de detectiespoel S_3: de circuitonderbreker reageert niet.
Als de stroomsterkten (een klein beetje) verschillend zijn (en dus hun magneetvelden ook) ontstaat er een netto magnetisch veld in de ijzeren ring. Er wordt nu een kleine spanning opgewekt in detectiespoel S_3.

Dit laatste kun je vergelijken met de manier waarop de spanning in de secundaire spoel van een transformator wordt opgewekt.
De opgewekte spanning van de detectiespoel zorgt ervoor dat er een klein stroompje door de circuitonderbreker gaat lopen, die vervolgens de stroomkring onderbreekt.



figuur 8 Zo ziet een eenvoudige aardlekschakelaar er schematisch uit.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welk gevaar is aanwezig bij overbelasting of kortsluiting?
- ○ A De aardlekschakelaar kan uitschakelen.
- ○ B De zekering kan uitschakelen.
- ○ C Er kan brand ontstaan.
- ○ D Je kunt een schok krijgen.

b Bij welke stroomsterkte door het lichaam kunnen hartproblemen ontstaan?
- ○ A tussen 0,5 en 5 mA
- ○ B tussen 5 en 20 mA
- ○ C tussen 20 en 50 mA
- ○ D tussen 50 en 200 mA

2 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe kun je aan een elektronische zekering zien dat de zekering de stroom in de groep heeft uitgeschakeld?

b Waarop reageert een aardlekschakelaar als hij de stroom uitschakelt?

c Hoe kan de metalen buitenkant van een elektrisch apparaat onder spanning komen te staan?

d In welke situatie geeft een aardlekschakelaar je meer veiligheid dan een zekering?

3

a Welke soort draad is bedoeld om een lekstroom af te voeren? ....

b Leg uit langs welke route de lekstroom dan wordt afgevoerd.

TOEPASSING

4 Als je een draad beetpakt waar een spanning van 230 V op staat, krijg je een stevige schok. Van schrik kunnen je handen dan nat worden van het zweet.
Kies de juiste antwoorden.

a De contactweerstand van je lichaam wordt *groter / kleiner* door het zweet.
b Door de verandering van deze contactweerstand wordt de stroomsterkte door je lichaam *groter / kleiner*.
c Het wordt dan moeilijker om de draad weer los te laten.
Hoe komt dat?

5 In de keuken van Peters flat staan drie elektrische apparaten aan: de wasmachine, de elektrische oven en de koelkast. Op het moment dat Peter ook nog zijn waterkoker aanzet, valt opeens de elektriciteit uit.

a Noteer twee mogelijke oorzaken voor het uitvallen van de elektriciteit.
b De televisie in Peters huiskamer staat nog wel aan.
Hoe kan het dat daar de elektriciteit niet is uitgevallen?
c Peter ziet in de meterkast dat het hefboompje van een van de zekeringen omlaag is geklapt. Als hij dit hefboompje omhoogduwt en loslaat, valt het net zo snel weer terug.
Wat had Peter eerst moeten doen?

6 Amel is huiswerk aan het maken. Als het donker begint te worden, drukt ze op de schakelaar van haar bureaulamp. Tot haar ergernis gaat de lamp niet aan.

a Noteer wat er aan de hand zou kunnen zijn:
- met het ledlampje in haar bureaulamp;
- met de groepszekering in de meterkast;
- met het elektriciteitsnet in Amels wijk.

b Amel kijkt naar buiten. Overal in de straat branden er lampen in de huizen.
Welke mogelijke oorzaak kan ze dus uitsluiten?
c Amel zet de computer op haar bureau aan. Die start meteen op.
Welke oorzaak kan ze dus ook uitsluiten?
d Welke mogelijkheid is er nu nog over? Hoe kan Amel testen of dit echt de oorzaak is?

7 Hieronder worden vijf situaties beschreven.

1 Yourka probeert drie apparaten (samen 4,2 kW) op één groep te laten werken.
2 Elise krijgt onverwacht een schok als ze een kapotte waterkoker aanraakt.
3 Door loszittende bedrading is er kortsluiting ontstaan in Gemma's televisie.
4 Loubna raakt met haar hand de randaarde van een geaard stopcontact aan.
5 Jesse laat een werkende föhn in het bad vallen dat nog vol met water zit.

In welke situatie(s):

a zal de groepszekering de stroom uitschakelen?
in situatie *1 / 2 / 3 / 4 / 5*
b zal de aardlekschakelaar de stroom uitschakelen?
in situatie *1 / 2 / 3 / 4 / 5*
c gebeurt er niets, omdat er geen gevaar bestaat?
in situatie *1 / 2 / 3 / 4 / 5*

8 Om ongelukken met elektriciteit te voorkomen, kun je apparaten aarden.

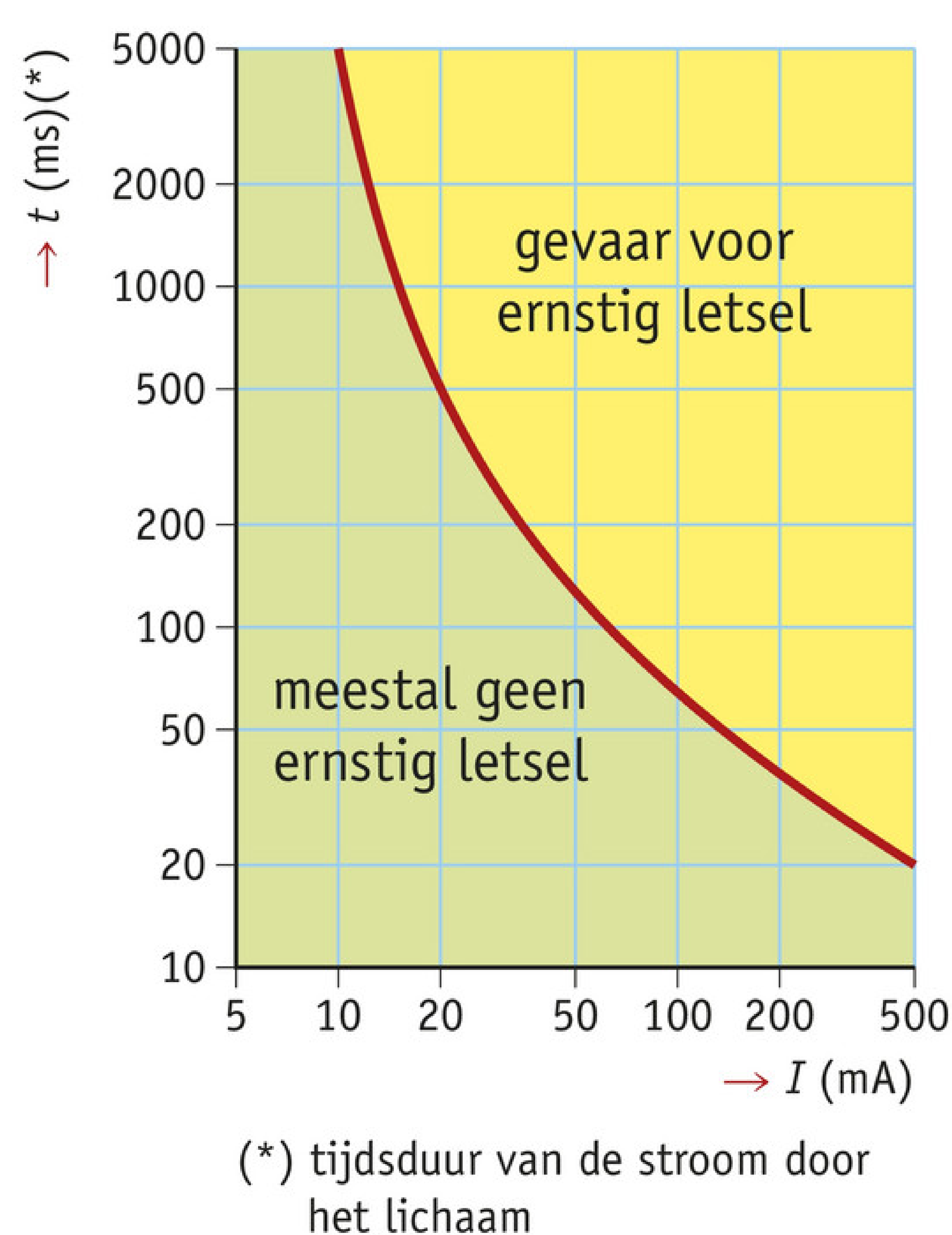
a Leg uit waarom het belangrijk is dat de metalen buitenkant van een wasmachine wordt geaard.
b Leg uit waarom het geen zin heeft om de buitenkant van een dubbel geïsoleerd apparaat te aarden.

9 Als David zijn elektrische oven aanraakt, krijgt hij een schok. Op dat moment loopt er een stroom van 8,25 A door de fasedraad en een stroom van 8,21 A door de nuldraad.

- **a** Bereken de grootte van de lekstroom in deze situatie.
- **b** Leg uit of de aardlekschakelaar de stroom zal uitschakelen.
- **c** Als de oven een dag later wordt gerepareerd, blijkt dat de aarddraad is losgegaan. Daardoor was de metalen buitenkant van het apparaat niet meer geaard. Leg uit dat David geen schok had gekregen als de aarddraad goed vast had gezeten.

10 Een elektrische schok kan ernstig letsel veroorzaken. Hoe groot het risico is, hangt af van de stroomsterkte en van de tijd die de stroom door het lichaam loopt (figuur 9).

- **a** Binnen welke tijd moet een aardlekschakelaar de stroom uitschakelen om het risico beperkt te houden:
  - bij een stroomsterkte van 50 mA?
  - bij een stroomsterkte van 200 mA?
- **b** Op de website www.veiligheid.nl staat: “De aardlekschakelaar schakelt uit als de lekstroom groter is dan 30 milliampère en minimaal 20 milliseconden aanhoudt en maakt daarmee elektrocutie onmogelijk.” Klopt deze bewering met de informatie in figuur 9? Leg uit.



figuur 9 De gevarengrens bij een elektrische schok.

★ 11 Gilles controleert of er spanning op een stopcontact staat. Het neonlampje in zijn spanningzoeker gaat branden als hij met een vinger achter op de spanningzoeker drukt (figuur 10).

- **a** Is het een sterke stroom die dan door het neonlampje en zijn vinger naar de aarde loopt? Hoe weet je dat?
- **b** Het valt Gilles op dat het neonlampje feller gaat branden als hij met zijn andere hand een waterkraan aanraakt. Hoe komt het dat de stroomsterkte dan toeneemt? Gebruik het woord ‘weerstand’ in je uitleg.
- **c** Zijn de waterleidingbuizen in Gilles’ huis van koper of van plastic gemaakt? Licht je antwoord toe.



figuur 10 Een stopcontact testen met een spanningzoeker.

Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE WERKING VAN EEN AARDLEKSCHAKELAAR

12 De spoelen S_1 en S_2 in figuur 8 hebben een gelijk aantal windingen.

a Leg uit waarom dit belangrijk is.

b Leg uit waarom er een netto magnetisch veld wordt opgewekt als de stroomsterkten I_1 en I_2 verschillend zijn.

c Soms worden vochtige ruimten zoals de badkamer met een extra aardlekschakelaar beveiligd. Leg uit waarom juist deze ruimten een aparte aardlekschakelaar krijgen.

★ 13

a Anja zegt: "Als je de ijzeren ring door een koperen ring vervangt, zal de aardlekschakelaar nog eerder reageren, want koper geleidt de stroom veel beter." Leg uit dat Anja ongelijk heeft.

b Zoek op internet twee andere metalen op die geschikt zijn om de ring van te maken.

Practica

PROEF 1 DE TRANSFORMATOR

30 minuten

Inleiding

Het gebeurt vaak dat de spanning van een spanningsbron te hoog of juist te laag is. In zo'n geval gebruik je een transformator. Met een transformator kun je de spanning omhoog of omlaag transformeren, terwijl er bijna geen elektrische energie verloren gaat.

Doel

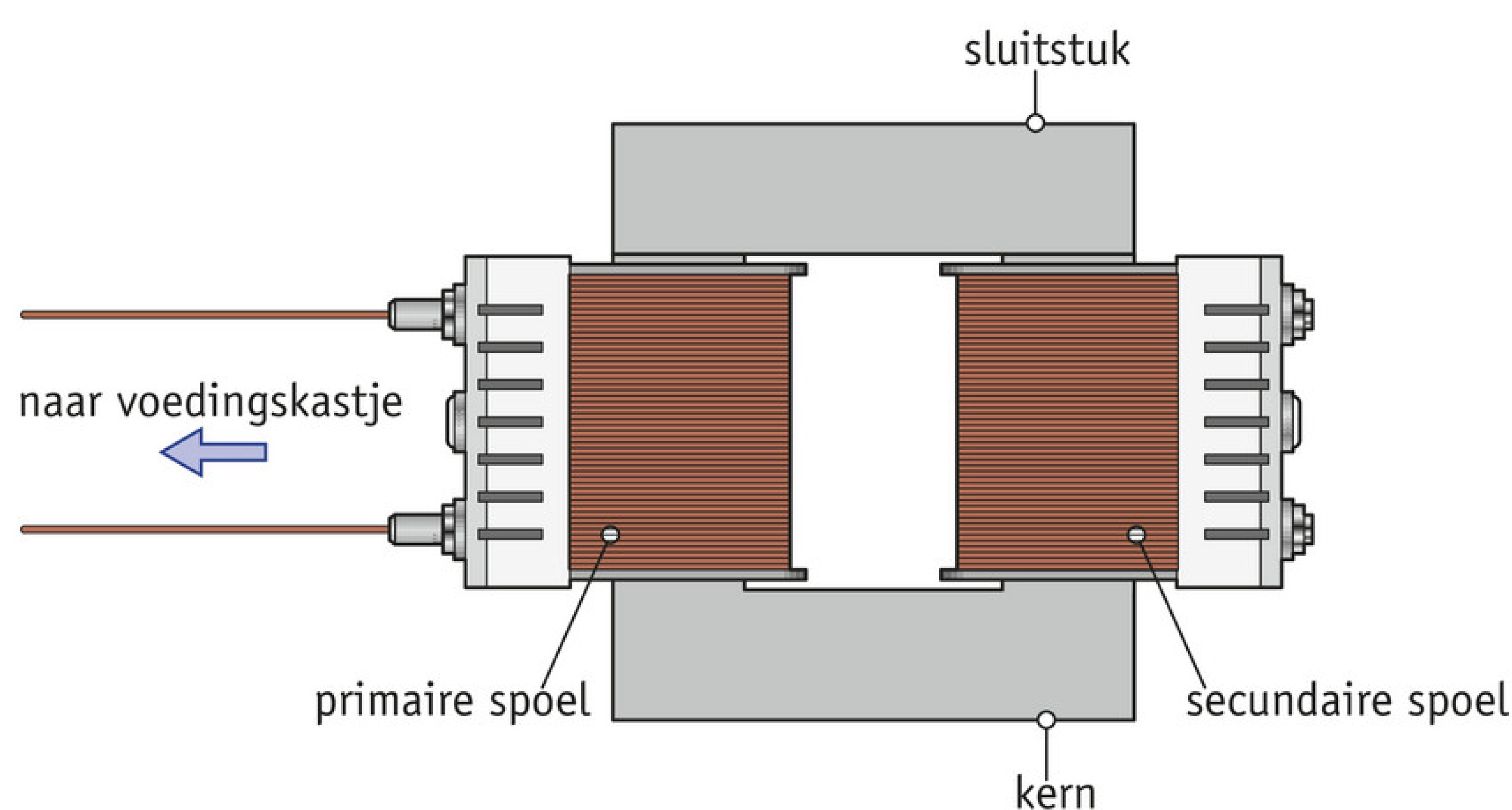
Je onderzoekt de eigenschappen van een transformator.

Nodig

- ☐ voedingskastje
- ☐ weekijzeren juk
- ☐ weekijzeren sluitstuk
- ☐ spoel met 300 windingen
- ☐ spoel met 600 windingen
- ☐ spanningsmeter of multimeter
- ☐ staaf van koper of aluminium
- ☐ snoeren

Uitvoeren en uitwerken

- Bouw de eenvoudige transformator die in figuur 1 is getekend.
- Voer de vier onderzoeken uit die hierna worden beschreven.
- Stel bij alle onderzoeken het voedingskastje in op 6 V (~ of =).



figuur 1 Een eenvoudige transformator.

Onderzoek 1

- Onderzoek of het mogelijk is:
  - om gelijkspanning te transformeren;
  - om wisselspanning te transformeren.

1 Schrijf je bevindingen op.

....

....

....

....

Onderzoek 2

- Onderzoek hoe je een spanning van 6 V omhoog kunt transformeren.

2 Welke spoel moet je dan als primaire spoel nemen en welke als secundaire?

....

....

3 Hoe groot wordt de (secundaire) spanning?

....

Onderzoek 3

- Onderzoek hoe je een spanning van 6 V omlaag kunt transformeren.

4 Welke spoel moet je dan als primaire spoel nemen en welke als secundaire?

....

....

5 Hoe klein wordt de (secundaire) spanning?

....

Onderzoek 4

- Onderzoek wat er gebeurt als je het sluitstuk weghaalt.

6 Verandert de (secundaire) spanning dan en zo ja, hoe?

....

....

....

....

7 Wat gebeurt er als je het sluitstuk vervangt door een koperen of aluminium staaf?

....

....

....

....

- Je docent zal je vertellen van welk onderzoek je een verslag moet maken.

PROEF 2 METEN MET EEN ENERGIEMETER

30 minuten

Inleiding
Met een energiemeter kun je het energieverbruik en het vermogen van elektrische apparaten meten. Het apparaat wordt ook wel een energiekostenmeter genoemd. Van je docent krijg je (een link naar) de gebruiksaanwijzing. Lees die goed voordat je aan het werk gaat.

Doel
Je bepaalt het vermogen en het energieverbruik van diverse elektrische apparaten.

Nodig
- ☐ energiemeter
- ☐ föhn
- ☐ stopwatch
- ☐ waterkoker

Uitvoeren en uitwerken
WAARSCHUWING
Je werkt bij deze proef met een spanning van 230 V. Wees dus voorzichtig. Houd je aan de aanwijzingen van je docent.

- Je docent zal je vertellen welke meting(en) jij moet uitvoeren.

Meting 1: Het vermogen van een föhn
- Steek de energiemeter in een stopcontact.
- Sluit het apparaat aan op de energiemeter.
- Bepaal het vermogen bij verschillende standen van de föhn (figuur 2).



figuur 2 Zo meet je het vermogen van een föhn.

1 Noteer je meetresultaten.

....

....

....

2 Noteer het vermogen dat op het typeplaatje van de föhn vermeld staat.

....

3 Vergelijk het vermogen op het typeplaatje (opdracht 2) met de vermogens die je hebt gemeten (opdracht 1).
Wat is je conclusie?

....

....

Meting 2: Het energieverbruik van een waterkoker

- Stel op de energiemeter het elektriciteitstarief in op € 0,23.
- Doe een halve liter water in de waterkoker.
- Meet hoeveel elektrische energie nodig is om een halve liter water aan de kook te brengen.

4 Noteer:

- hoelang het duurde om het water aan de kook te brengen;

  ....

- hoeveel elektrische energie de waterkoker heeft verbruikt;

  ....

- hoeveel je voor deze hoeveelheid energie moet betalen.

  ....

5 Bereken het energieverbruik van de waterkoker met behulp van het vermogen op het typeplaatje en de tijdsduur die je bij opdracht 4 hebt opgeschreven.

....

....

6 Vergelijk het berekende energieverbruik (opdracht 5) met het gemeten energieverbruik (opdracht 4).
Wat is je conclusie?

....

....

PROEF 3 EEN ONDERZOEK UITVOEREN: ENERGIE BESPAREN

40 minuten

Inleiding

Stel je voor: op de verpakking van een ledlamp staat een vergelijking met een spaarlamp (figuur 3). Daaruit kun je opmaken dat een ledlamp minstens twee keer zo zuinig is als een spaarlamp. Jij vraagt je af of die bewering wel klopt.
Hoe zou je dat kunnen nagaan?

Doel

Je zoekt een antwoord op de onderzoeksvraag:
Is een ledlamp minstens 2× zo zuinig als een spaarlamp met dezelfde lichtopbrengst?

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

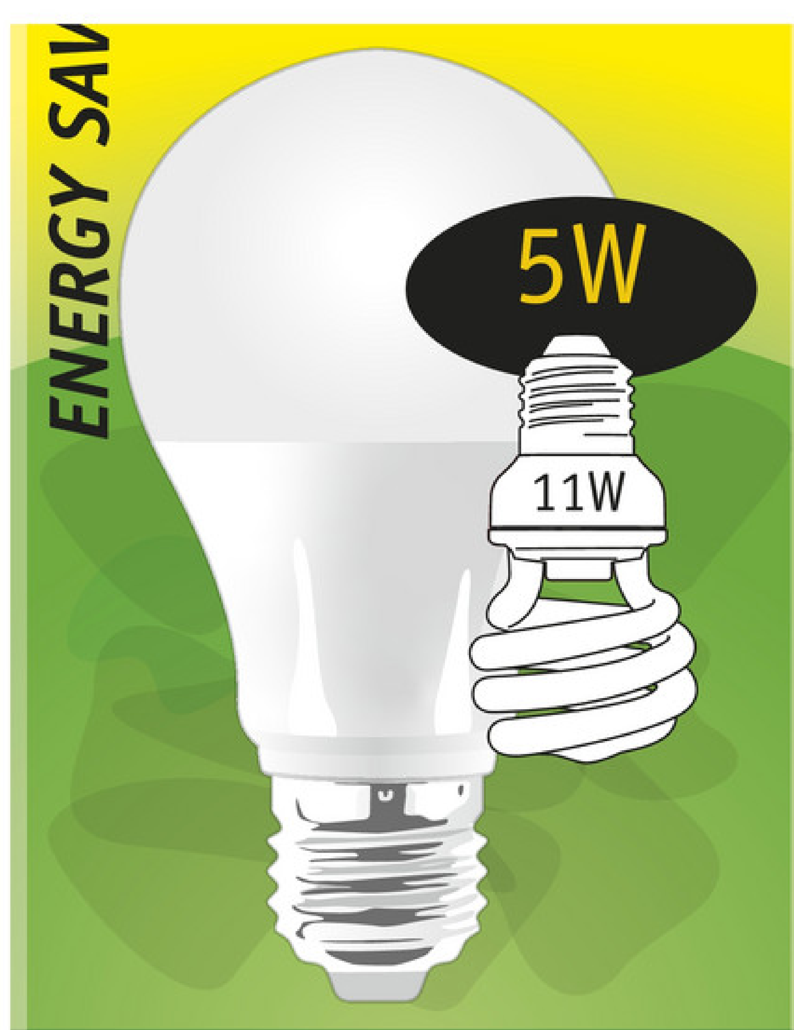
Uitvoeren en uitwerken

- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit? Wat zoek je op en wat ga je meten? Hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Zie de vaardigheid *Onderzoek doen*.
Maak een werkplan voor dit onderzoek.
- De werkplannen worden de volgende les met de klas besproken. Verbeter je eigen werkplan daarna nog, indien nodig.
- Voer nu het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.



figuur 3 Klopt de claim op de verpakking?

Een supernetwerk voor Europa



Duurzame energie wordt in Europa steeds belangrijker. Er is genoeg zon, wind en waterkracht om heel Europa van elektrische energie te voorzien. Waait het niet in Schotland, dan schijnt de zon wel in Spanje. Het probleem is alleen hoe je de energie daar krijgt, waar ze nodig is. Hoe kun je duurzame elektriciteit van Spanje naar Schotland vervoeren, als Schotland te weinig heeft – of in omgekeerde richting, als Spanje tekortkomt? Het Europese *supergrid* zou een oplossing kunnen zijn.

Een nadeel van duurzame energiebronnen is dat het aanbod zo kan fluctueren. De ene dag waait het flink en draaien de windturbines er vrolijk op los. De volgende dag is het windstil en produceren de windturbines nul komma nul. Zonne-energie is er alleen overdag en het aanbod is in de zomer veel groter dan in de winter.

Door al die fluctuaties hebben landen de ene keer een overschot aan duurzame energie en de andere keer een tekort. Dat is lastig, omdat er nog steeds geen goede transportmogelijkheden zijn. Landen met een overschot kunnen hun surplus aan energie niet kwijt aan de rest van Europa. Landen met een tekort kunnen niet genoeg duurzame elektriciteit importeren. En dus zetten ze hun oude, vervuilende centrales maar weer aan.

DE NORNED-KABEL

Nederland en Noorwegen laten zien dat het ook anders kan. In 2008 namen deze twee landen de NorNed-kabel in gebruik: een 580 km lange, onderzeese hoogspanningskabel tussen Feda in Noorwegen en de Eemshaven in Nederland (figuur 1). Vanaf dat

moment kan Noorwegen elektrische energie leveren aan Nederland, of Nederland aan Noorwegen – het is maar net wat het voordeligst is.

In Noorwegen wordt vrijwel alle stroom geproduceerd met waterkracht uit stuwmeren. Dat is duurzaam en meestal ook goedkoop. Daar staat tegenover dat er in droge jaren grote tekorten kunnen ontstaan. Elektriciteit wordt dan opeens enorm duur. In het noorden van Nederland staan grote elektriciteitscentrales. Die zijn weliswaar niet duurzaam, maar ze kunnen wel op elk gewenst moment elektriciteit leveren.

Het energieverbruik in de twee landen verschilt ook. In Nederland wordt ’s nachts maar weinig elektrische energie verbruikt, in Noorwegen is het energieverbruik ’s nachts vrij hoog. Nederland heeft nog veel verwarming met aardgas, Noorwegen heeft elektrische verwarming, die ’s winters veel energie opslorpt.

Door die verschillen kunnen beide landen van de NorNed-kabel profiteren. Overdag kan Noorwegen goedkope en schone *hydropower* naar Nederland exporteren. ’s Nachts kunnen de Nederlandse centrales constant door blijven draaien en stroom de andere kant op leveren, naar Noorwegen. En in droge jaren helpt de Nederlandse stroom voorkomen dat de Noren opeens met tekorten en een torenhoge energierekening worden geconfronteerd.



figuur 2 Converterstation bij de Eemshaven.

HVDC-TECHNOLOGIE

De hoogspanningsleidingen in Europa, ook die in Noorwegen en Nederland, werken met wisselspanning. Dat is een uitstekend systeem, zolang de afstanden maar niet te groot zijn. Tot ongeveer 100 km gaat het prima, maar bij grotere afstanden ontstaan er problemen. Er gaat dan zo veel energie verloren in de kabels, dat het energietransport meer geld kost dan dat het oplevert.

De NorNed-kabel werkt met gelijkspanning. Het is een HVDC-verbinding die *high voltage* (hoogspanning) combineert met *direct current* (gelijkstroom). Er is voor de HVDC-technologie gekozen, omdat gelijkspanning voor grote afstanden efficiënter is dan wisselspanning. Dat maakt het rendabel om elektrische energie over honderden kilometers te vervoeren.

HVDC heeft ook nadelen. De wisselspanning van het gewone elektriciteitsnet moet speciaal voor de NorNed-kabel worden omgezet in gelijkspanning. Aan het andere uiteinde moet van die gelijkspanning weer wisselspanning worden gemaakt. Dat is technisch nog niet zo eenvoudig en vereist veel apparatuur. De converterstations bij Feda en bij de Eemshaven beslaan elk circa twee voetbalvelden (figuur 2).

figuur 1 De NorNed-kabel.



TECHNISCHE GEGEVENS NORNED:

- kabellengte 580 km, waarvan 420 km kabel in ondiep water (tot 50 m diepte) en 160 km kabel op een diepte tot maximaal 410 m
- totale massa kabel: 47 000 ton
- massa koper in kabel: 9000 ton
- maximale spanning op de kabel: + 450 kV en − 450 kV
- maximaal vermogen: 700 MW
- aanlegkosten: 600 miljoen euro

TECHNISCH HOOGSTANDJE

De NorNed-kabel heeft een capaciteit van 700 MW, genoeg om een miljoen huishoudens van elektrische energie te voorzien. Die 700 MW gaat door twee koperen aders met een doorsnede van slechts 3,5 cm. De kabel bestaat verder uit isolatiemateriaal, pantsering en afdichting (figuur 3). Binnenin de kabel loopt de temperatuur op tot 50 °C, aan de buitenkant tot hooguit 35 °C.

In de NorNed-verbinding is veel geavanceerde technologie toegepast. Dat maakt de verbinding ook storingsgevoelig. De kabel lag er in de eerste twee jaren tien keer uit, soms maanden achter elkaar. De oorzaken waren divers: kabelbreuken, kortsluiting, defecte onderdelen, haperende software.

Inmiddels lijken de kinderziekten overwonnen. Economisch is de kabel al vanaf het begin een groot succes. De 600 miljoen euro aanlegkosten waren er in 2014, zes jaar na de ingebruikname, al bijna weer uit. Dat had niemand van tevoren verwacht.

“Investeren moeten we toch – het gaat erom waaraan we ons geld het best kunnen besteden.”

DE TOEKOMST: EEN SUPER-GRID?

Het succes van de NorNed-kabel staat niet op zichzelf. Er zijn meer landen in Europa met een HVDC-verbinding, zoals Frankrijk en Groot-Brittannië (2000 MW, 73 km), Griekenland en Italië (500 MW, 313 km) en Polen en Zweden (254 km, 600 MW). Volgens sommige energiedeskundigen is dit nog maar het begin. Met de huidige HVDC-technologie kan een kabel tot 7000 MW vervoeren over meer dan 2000 km: de afstand tussen Edinburgh in Schotland en Sevilla in Zuid-Spanje. Dat maakt het technisch mogelijk alle landen in Europa te verbinden in één groot Europees supernetwerk.

Zo’n *European supergrid* is goed nieuws voor producenten van duurzame energie. Europa wil een groot deel van zijn elektriciteit duurzaam opwekken. Het supernetwerk maakt dat mogelijk doordat duurzame energie gemakkelijk kan worden geïmporteerd en geëxporteerd: de nationale energiebedrijven kunnen pieken en dalen in het aanbod daardoor veel beter opvangen.

Maar zover is het nog lang niet. Om te beginnen zal er geld op tafel moeten komen. De kosten van een supernetwerk worden geschat op meer dan 125 miljard euro. Geen bedrag dat de landen in Europa zomaar even kunnen vrijmaken. Ook zullen er afspraken moeten komen over het gebruik en het beheer en dat is met zoveel verschillende landen niet eenvoudig.

Energielobbyist Tara Connolly van milieuorganisatie Greenpeace is desondanks optimistisch: “Een groot deel van het huidige netwerk is veertig jaar oud en moet binnenkort worden vervangen. Investeren moeten we toch – het gaat erom waaraan we ons geld het best kunnen besteden.” Zij kiest overtuigd voor een Europees supernetwerk. En nu maar afwachten of Europa het daarmee eens is.



figuur 3 De kabel bestaat uit twee koperen aders met daaromheen isolatiemateriaal, pantsering en afdichting.

OPDRACHTEN

1

Bereken met de gegevens in de tekst:

a hoe groot de (totale) stroomsterkte door de koperen aders is, als het maximale vermogen van de NorNed-kabel wordt benut.

b hoeveel kWh elektrische energie de NorNed-kabel in één dag kan vervoeren van Nederland naar Noorwegen (of omgekeerd).

2

Voor de NorNed-kabel is gebruikgemaakt van de HVDC-technologie.

a Waarom wordt er voor energietransport over lange afstand gekozen voor HVDC-kabels in plaats van gewone hoogspanningslijnen?

b Waarom is HVDC niet geschikt voor het gewone elektriciteitsnet, dat de elektrische energie verdeelt over steden en dorpen?

3

Technisch is het mogelijk een Duits overschot aan windenergie tijdelijk op te slaan in Noorse stuwmeren. Er zijn plannen om hiervoor een HVDC-verbinding te leggen tussen Duitsland en Noorwegen.
Leg uit:

a hoe je een overschot aan duurzame energie in een stuwmeer kunt opslaan.

b hoe het komt dat de opslagcapaciteit beperkt is en niet altijd even groot is.

c op welke manier je de opgeslagen energie weer uit het stuwmeer kunt halen.

Leerstofoverzicht

1.1 ELEKTRISCHE ENERGIE VERVOEREN

ONTHOUD

- In een elektriciteitscentrale wordt stoom gemaakt door water te verhitten. De stoom drijft een turbine aan waaraan een generator vastzit. De generator wekt wisselspanning op.
- Door een hoge spanning (380 kV) te gebruiken kun je de warmteontwikkeling in de hoogspanningskabels klein houden. Na vervoer wordt de spanning in twee stappen verlaagd naar 230 V.
- Een constante spanning die niet verandert, noem je een gelijkspanning. Een wisselspanning is een veranderlijke spanning die meerdere keren per seconde van een positieve spanning naar een negatieve spanning wisselt.
- Een transformator bestaat uit een primaire spoel, een secundaire spoel en een weekijzeren kern. Een transformator werkt alleen op wisselspanning.
- Voor het verband tussen de primaire en secundaire spanning in de transformator geldt de formule: $\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$

BEGRIPPEN

effectieve spanning
De 'gemiddelde' spanning van een wisselspanning. Als je met een wisselspanning moet rekenen, bijvoorbeeld om het vermogen uit te rekenen, gebruik je de effectieve spanning.

elektriciteitscentrale
Centrale die grote hoeveelheden elektrische energie opwekt.

elektromagneet
Een elektrisch onderdeel, zoals een spoel, dat zich onder invloed van een elektrische stroom als een magneet gaat gedragen.

energieverlies
Het gegeven dat er elektrische energie verloren gaat tijdens het transport, doordat een deel van die energie wordt omgezet in warmte.

gelijkspanning
Spanning die onveranderlijk is, zoals de spanning van een batterij of accu.

generator
Onderdeel van een elektriciteitscentrale dat werkt als een grote dynamo: bewegingsenergie wordt ermee omgezet in elektrische energie.

hoogspanning
Hoge spanning (tot 380 kV) die wordt gebruikt om elektrische energie over grote afstanden te vervoeren.

netspanning
Spanning van 230 V, zoals je die thuis gebruikt.

primaire spanning
De spanning waarop de primaire spoel wordt aangesloten.

primaire spoel
Onderdeel van een transformator dat elektrische energie opneemt uit het lichtnet. Er loopt wisselstroom doorheen.

secundaire spanning
De spanning die de secundaire spoel levert.

secundaire spoel
Onderdeel van een transformator dat elektrische energie afgeeft aan een apparaat.

transformator
Apparaat dat een wisselspanning kan omzetten in een hogere of lagere wisselspanning met behulp van twee spoelen om een weekijzeren kern.

wisselspanning
Spanning die voortdurend van plus naar min wisselt, zoals de spanning op het lichtnet.

1.2 VERMOGEN EN ENERGIE

ONTHOUD

- Met de formule $P = U \cdot I$ kun je het vermogen (P), de spanning (U) en de stroomsterkte (I) berekenen.
- Met de formule $E = P \cdot t$ kun je de energie (E), het vermogen (P) en de tijd (t) berekenen.
- 1 kWh is gelijk aan $3{,}6 \cdot 10^6$ J.

BEGRIPPEN

energieverbruik
De hoeveelheid elektrische energie die een apparaat opneemt van het lichtnet en daarna omzet in een of meer andere energiesoorten, zoals warmte of licht. De energie verdwijnt dus niet.

kWh-meter of energiemeter
Meter die het verbruik van elektrische energie in huis meet. Zo genoemd omdat het verbruik wordt afgerekend in kWh (kilowattuur).

vermogen
De hoeveelheid elektrische energie die een apparaat per seconde verbruikt. De eenheid is watt (W).

1.3 ELEKTRICITEIT IN HUIS

ONTHOUD

- Je berekent de totale stroomsterkte in een groep door de stroomsterkten van alle takken bij elkaar op te tellen; in formulevorm: $I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$ Als je het totale vermogen en de spanning weet, kun je de totale stroomsterkte ook berekenen met de formule: $I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U}$
- Je berekent het totale vermogen in een groep door de vermogens van alle apparaten die aanstaan bij elkaar op te tellen; in formulevorm: $P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$. Als je de totale stroomsterkte en de spanning weet, kun je de totale stroomsterkte ook berekenen met de formule: $P_{tot} = U \cdot I_{tot}$
- Als de stroomsterkte in een groep te groot wordt, doordat er te veel apparaten tegelijk worden aangezet, dan noem je dat overbelasting. Als de stroom een andere weg kan nemen met een kleine weerstand, dan noem je dat kortsluiting.
- In een huisinstallatie worden verschillende soorten draden gebruikt. De bruine draad is de fasedraad. Hierop staat een wisselspanning van 230 V. De blauwe draad is de nuldraad. Hierop staat geen spanning. De zwarte draad is de schakeldraad. Hierop staat alleen spanning als de schakelaar in de AAN-stand staat.

BEGRIPPEN

fasedraad
Bruine elektriciteitsdraad waarop een wisselspanning staat van 230 V.

groepsschakelaar
Schakelaar waarmee je in één keer de spanning over alle stopcontacten en lichtpunten in een groep kunt uitzetten.

huisinstallatie
Een netwerk van elektriciteitsdraden dat door de muren en plafonds van een huis loopt.

kortsluiting
Het ongewenste gevolg als de stroom in een stroomkring een weg vindt met een te kleine weerstand.

nuldraad
Blauwe elektriciteitsdraad die de stroomkring compleet maakt. Op deze draad staat geen spanning.

overbelasting
Het gevolg van het inschakelen van te veel apparaten in een groep waardoor de totale stroomsterkte boven 16 A komt.

schakeldraad
Zwarte elektriciteitsdraad waar alleen spanning op staat als de schakelaar in de AAN-stand staat.

weerstand
De eigenschap van een elektrisch onderdeel (of ander materiaal) die bepaalt hoe gemakkelijk elektrische stroom erdoorheen kan gaan.

1.4 ELEKTRICITEIT EN VEILIGHEID

ONTHOUD

- Gevaren van elektriciteit zijn:
  - ontstaan van brand door een te grote stroom door elektriciteitsleidingen;
  - krijgen van een schok, doordat er stroom door je lichaam loopt.
- Een apparaat dat dubbel is geïsoleerd, heeft normale isolatie rond de onderdelen waar de stroom door loopt, plus een tweede isolatielaag.
- Groepszekeringen en installatieautomaten schakelen de stroom uit in een groep als de stroomsterkte door die groep te groot wordt.
- Een aardlekschakelaar vergelijkt de stroom die een groep ingaat met de stroom die terugkomt. Is dit verschil groter dan 30 mA, doordat er stroom weglekt, dan schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit.
- Als de metalen buitenkant van een apparaat onder spanning staat, dan zorgt de aarddraad ervoor dat er een stroom gaat lopen naar de aarde, waardoor de aardlekschakelaar de stroom uitschakelt.

BEGRIPPEN

aarddraad
Een koperdraad met groengeel gestreepte isolatie die de rand van het stopcontact verbindt met een pin die in de aarde is geslagen.

aardlekschakelaar
Voorziening die de stroomsterkte in de fasedraad vergelijkt met de stroomsterkte in de nuldraad. Als het verschil groter wordt dan 30 mA, dan schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit. Er kan dan geen stroom meer ‘weglekken’.

contactweerstand
De weerstand op de plaatsen waar stroom het lichaam in- of uitgaat.

dubbele isolatie
Manier van isoleren waarbij twee lagen isolatie worden aangebracht: rond de onderdelen waar de stroom doorheen loopt en aan de buitenkant van het apparaat.

groepszekering
Voorziening die de stroom uitschakelt als de totale stroomsterkte in die groep hoger wordt dan (als regel) 16 A.

installatieautomaat
Een elektronische groepszekering. Als de installatieautomaat de stroom uitschakelt, klapt een hefboompje om.

lichaamsweerstand
De mate waarin een lichaam stroom geleidt.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

2 Krachten

SPIERKRACHT EN WERKTUIGEN
Krachten spelen een belangrijke rol in je leven. Of je nu een rots beklimt, een hap uit een appel neemt of alleen maar ademhaalt: je spieren moeten er krachten voor uitoefenen. En als je spierkracht niet groot genoeg is, gebruik je een werktuig om je spierkracht te vergroten.



Wat weet je al over krachten?

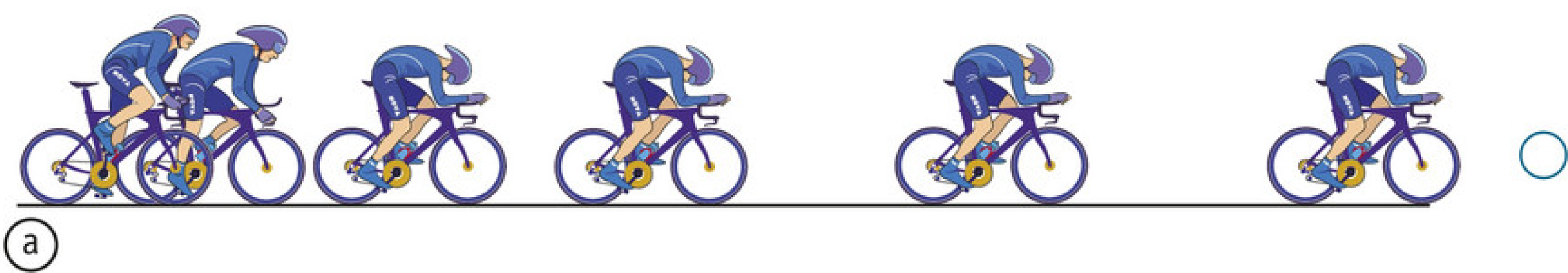
LEERDOELEN

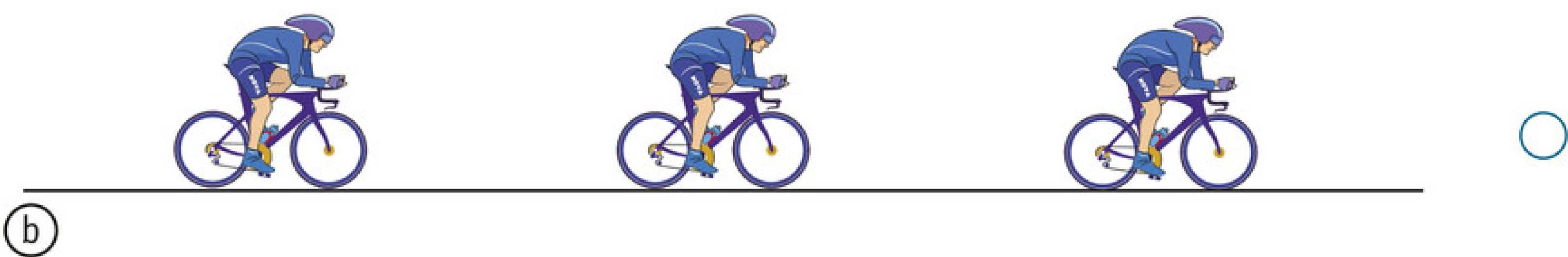
1 Je kunt uitleggen hoe de snelheid verandert bij een eenparige, versnelde en vertraagde beweging.
2 Je kunt de massa van een hoeveelheid stof bepalen en weergeven in kg of g.
3 Je kunt het verschil tussen massa en gewicht uitleggen.

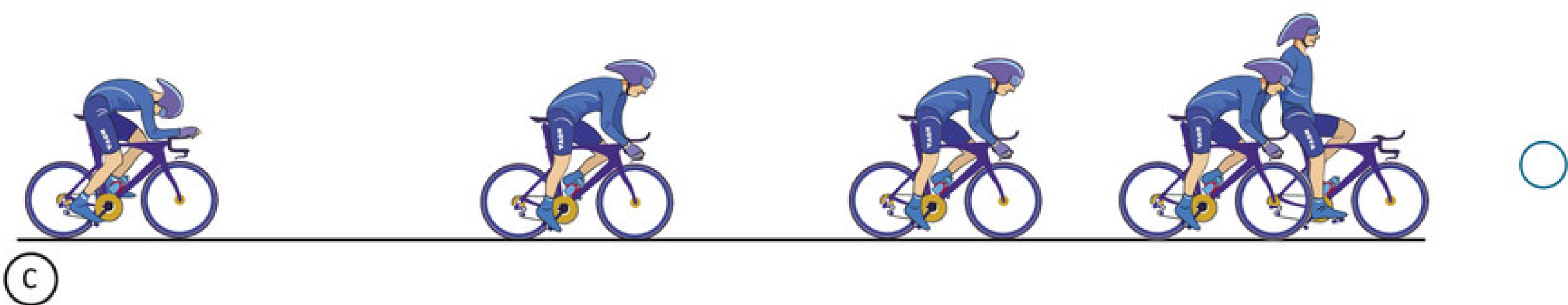
In deel 1-2 van Nova nask heb je al een aantal dingen geleerd over beweging en massa. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Hieronder staan drie afbeeldingen van een beweging en drie begrippen.
Trek een lijn van elke beweging naar het juiste begrip.


a ◯ — ◯ 1 vertraagde beweging


b ◯ — ◯ 2 versnelde beweging


c ◯ — ◯ 3 eenparige beweging

2 Hieronder staan drie soorten beweging en drie omschrijvingen.
Trek een lijn van elke beweging naar de juiste omschrijving.

eenparige beweging ◯	◯ een beweging waarvan de snelheid steeds kleiner wordt
versnelde beweging ◯	◯ een beweging met een constante snelheid
vertraagde beweging ◯	◯ een beweging waarvan de snelheid steeds groter wordt

3 Reken om.

0,980 kg = ... g

120 g = ... kg

25 mg = ... g

0,375 g = ... mg

4 Geef de juiste antwoorden. In de natuurkunde zijn massa en gewicht twee verschillende dingen. *De massa* / *Het gewicht* geeft aan uit hoeveel stof een voorwerp bestaat. *De massa* / *Het gewicht* is de kracht waarmee het voorwerp aan je handen trekt (als je het optilt), of op de vloer drukt (als je het neerzet).
Hoe groot *de massa* / *het gewicht* is, hangt niet alleen af van *de massa* / *het gewicht*, maar ook van de sterkte van de zwaartekracht. In het dagelijks leven maak je geen verschil tussen massa en gewicht, omdat de zwaartekracht op aarde toch overal even groot is. Maar als je de aarde verlaat, geldt dat niet meer.
Astronauten weten heel goed dat hun *gewicht* / *massa* enorm kan veranderen, terwijl hun *gewicht* / *massa* gelijk blijft. Op de maan heeft een voorwerp minder *gewicht* / *massa* dan op de aarde.

Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk. Of scan de QR-code om direct naar een filmpje te gaan:



Beweging



Massa

1 Soorten krachten

LEERDOELEN

2.1.1 Je kunt beschrijven wat de gevolgen zijn als een kracht op een voorwerp werkt.
2.1.2 Je kunt verschillende soorten krachten beschrijven.
2.1.3 Je kunt de grootte van een kracht meten.
2.1.4 Je kunt de zwaartekracht op een massa berekenen.
2.1.5 Je kunt een kracht tekenen door gebruik te maken van de krachtenschaal.
PLUS 2.1.6 Je kunt uitleggen wat het zwaartepunt van een voorwerp is.

Bij alles wat je doet, spelen krachten een rol. Of je nu een voetbal wegschopt, een kraan opendraait, een toets op je toetsenbord indrukt of een hap brood neemt: je spieren moeten er een kracht voor uitoefenen.

KRACHTEN HERKENNEN

Als er een **kracht** op je lichaam wordt uitgeoefend, kun je dat vaak voelen. Bijvoorbeeld als iemand je een duw geeft of als het stevig waait. Krachten die op andere mensen (of op voorwerpen) worden uitgeoefend, kun je niet zien of voelen. Je kunt alleen zien welk effect die krachten hebben.

Krachten kunnen de beweging van een voorwerp veranderen. Bij een volleybalwedstrijd gebeurt dat voortdurend. De snelheid van een bal neemt toe als een speler de bal smasht. De snelheid neemt af als een speler een harde bal ‘stopt’. De richting van een bal verandert als de spelers tegen de bal tikken of slaan.

Krachten kunnen ook de vorm van een voorwerp veranderen. Dat zie je als een boogschutter zijn boog spant of als een turnster na een salto weer op de trampoline neerkomt. Bij balsporten vervormt de bal bij elk balcontact, al is dat met het blote oog moeilijk te zien (figuur 1).



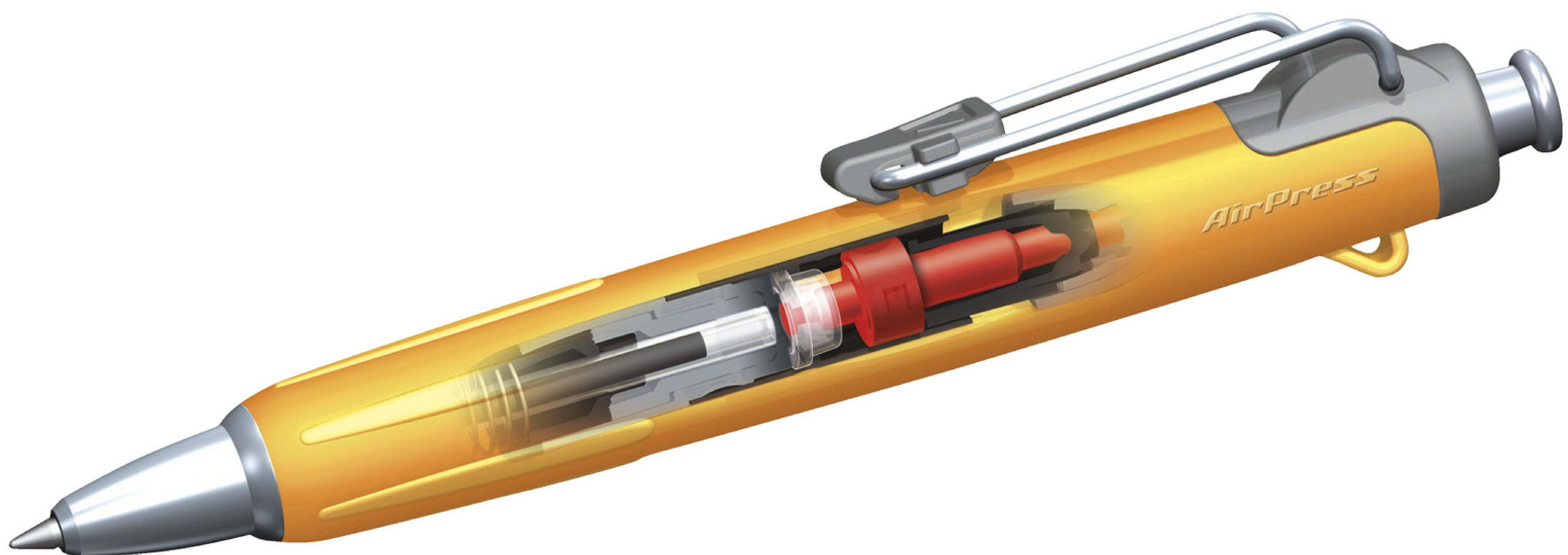
figuur 1 Elastische vervorming.

Een vervorming kan elastisch of plastisch zijn. Bij een **elastische vervorming** komt de oorspronkelijke vorm van het voorwerp weer terug, als de kracht ophoudt te werken. Dat zie je bijvoorbeeld bij een matras of een fietsband. Bij een **plastische vervorming** wordt het voorwerp blijvend vervormd, zoals bij klei.

SOORTEN KRACHTEN

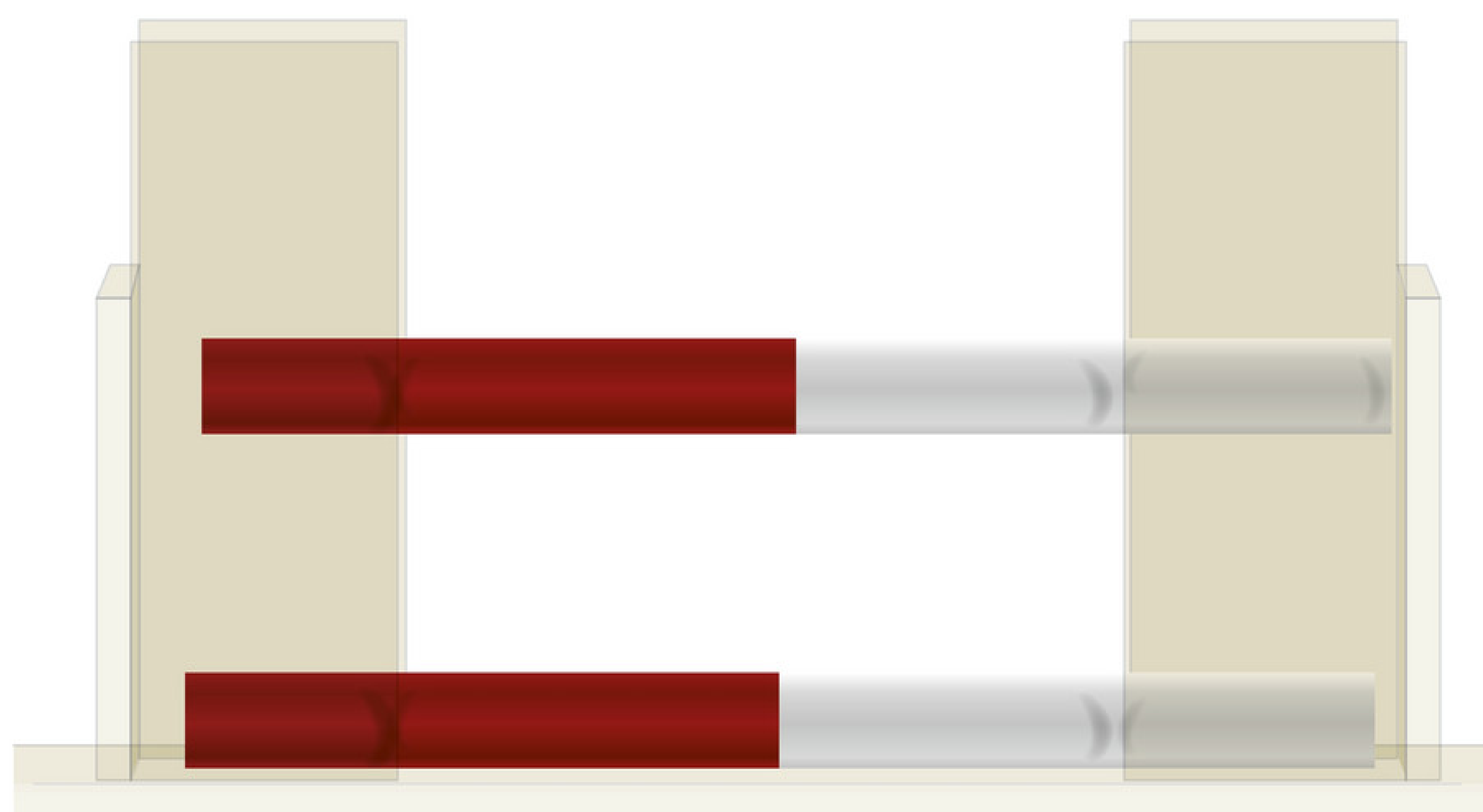
Er zijn allerlei verschillende krachten, zoals spierkracht, veerkracht, zwaartekracht en magnetische krachten.

- Als je een softbal weggooit, oefent je hand een kracht uit op de bal. Als je fietst, oefenen je voeten een kracht uit op de pedalen. In beide gevallen gebruik je je **spierkracht**. De spierkracht ontstaat doordat de spieren in je lichaam zich samentrekken.
- Als je een balpen indrukt, voel je de spiraalveer via het knopje terugduwen tegen je duim (figuur 2). Deze kracht noem je **veerkracht**. Veerkracht ontstaat als je een veerkrachtig materiaal uitrekt of indrukt. De veerkracht verdwijnt weer als het materiaal zijn oude vorm terugkrijgt.



figuur 2 Als je een balpen indrukt, voel je de veerkracht.

- Als je een slee aan een touw vooruit trekt in de sneeuw, dan ontstaat in het touw een kracht. Deze kracht noem je de **spankracht**.
- Als je je schoolboeken optilt, dan voel je hoe zwaar de boeken zijn. Als je daarna de boeken loslaat, dan vallen ze recht naar beneden. Dit is het effect van de zwaartekracht. De **zwaartekracht** is de kracht die aan jou en aan alle voorwerpen om je heen trekt.
- Als je twee staafmagneten bij elkaar houdt, voel je dat er tussen de polen (uiteinden) **magnetische krachten** werken. Een noordpool en een zuidpool trekken elkaar aan, maar twee noordpolen stoten elkaar af, net als twee zuidpolen. Die afstoting verklaart waarom in figuur 3 de bovenste magneet blijft zweven.

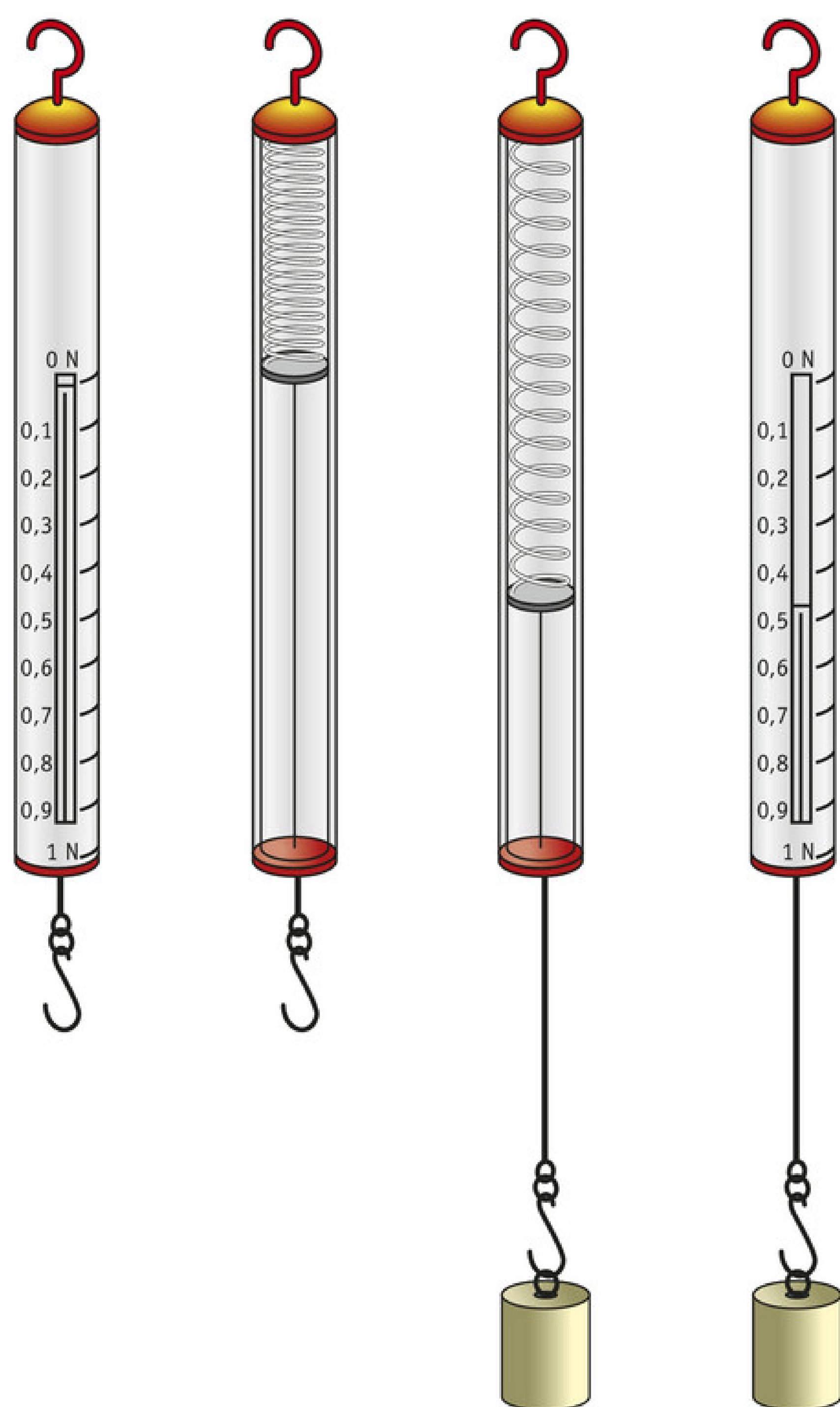


figuur 3 De twee magneten stoten elkaar af.

KRACHTEN METEN

Krachten kun je meten met een **krachtmeter**. In zo'n krachtmeter zit een spiraalveer. Hoe groter de kracht waarmee je aan de krachtmeter trekt, des te verder de veer uitrekt (figuur 4). Voor het meten van grote krachten gebruik je een krachtmeter met een stugge veer. Voor het meten van kleine krachten gebruik je een krachtmeter met een soepele veer.

Op een krachtmeter staat een schaalverdeling in newton. Newton (N) is de eenheid waarin je krachten meet: van de aantrekkingskracht tussen twee magneten tot de zwaartekracht op het aardoppervlak. Deze eenheid is genoemd naar de Engelse natuurkundige Isaac Newton (1642–1727).



figuur 4 Zo werkt een krachtmeter.

Op aarde is er een eenvoudig verband tussen de zwaartekracht en de massa van een voorwerp. Om de zwaartekracht op een voorwerp te vinden, moet je de massa vermenigvuldigen met 9,8. Je kunt deze rekenregel ook schrijven in letters:

$$F_z = m \cdot g$$

Hierin is:

- F_z de zwaartekracht in newton (N);
- m de massa in kilogram (kg);
- g de sterkte van de zwaartekracht in newton per kilogram (N/kg). Op aarde is de waarde van g 9,8 N/kg.

De letter F (van het Engelse *force*) is het natuurkundige symbool voor kracht.

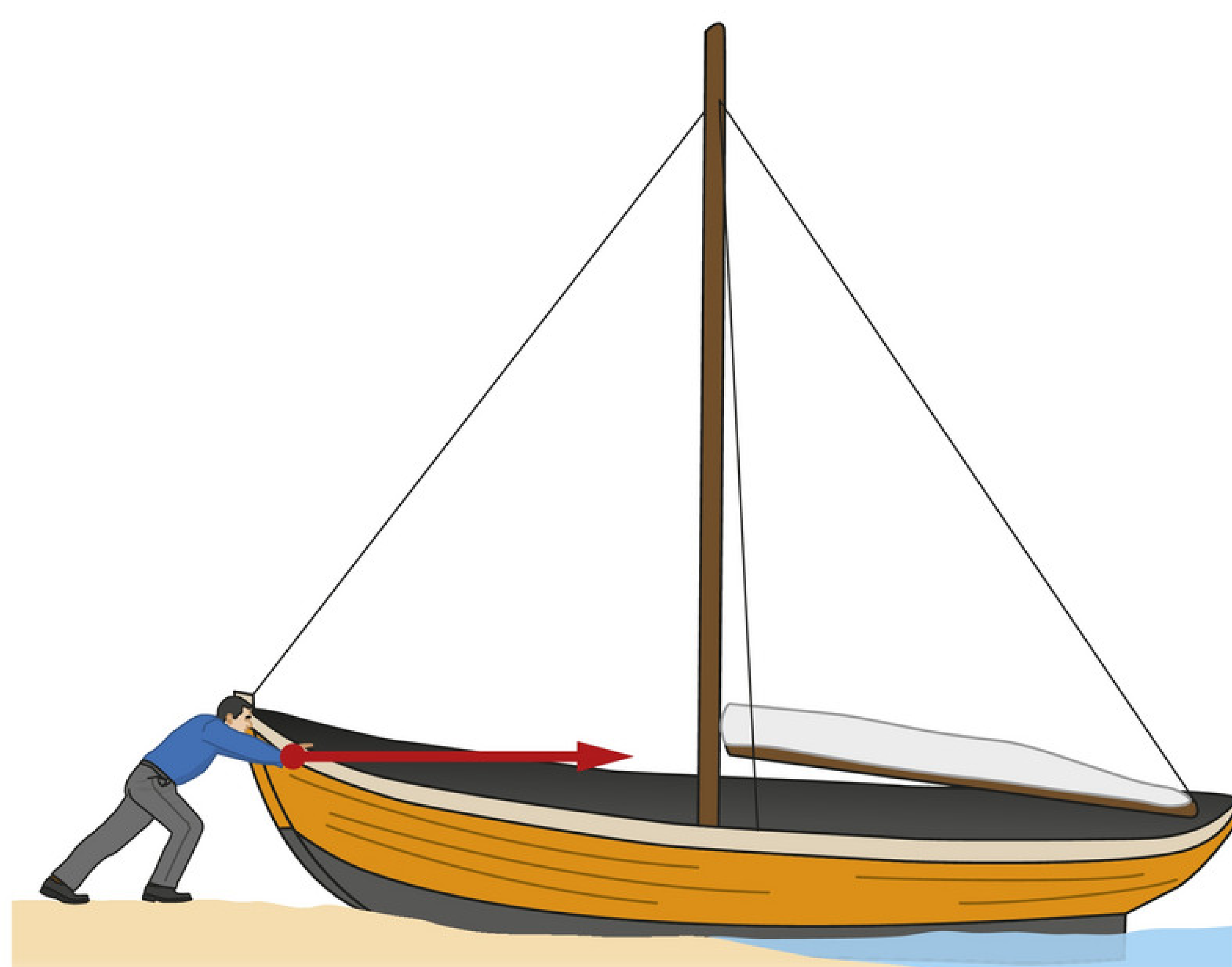
Een nauwkeurigere waarde voor g op aarde is 9,81 N/kg, maar bij berekeningen gebruik je in dit hoofdstuk de waarde 9,8 N/kg.

KRACHTEN TEKENEN

Een kracht heeft een grootte, een richting en een aangrijpingspunt. Een grootheid met deze eigenschappen noem je een **vector**. Een vector teken je als een pijl. Dat geldt ook voor krachten.

- De lengte van de pijl geeft de grootte van de kracht aan.
- De richting van de pijl geeft de richting van de kracht aan.
- Het beginpunt van de pijl geeft het aangrijpingspunt van de kracht aan.

Als je een kracht gaat tekenen, kies je eerst een **krachtenschaal**. Bijvoorbeeld: 1 cm $\triangleq$ 5 N. Dat betekent dat een pijl met een lengte van 1 cm een kracht van 5 N voorstelt. Een kracht van 15 N teken je op deze schaal als een pijl van 3 cm.
Let altijd goed op waar je de pijl laat beginnen. Als je in de tekening van figuur 5 de spierkracht wilt tekenen, moet de pijl beginnen op de plaats waar de handen tegen de boot duwen: daar ligt het aangrijpingspunt.



figuur 5 De spierkracht die wordt uitgeoefend op een boot.

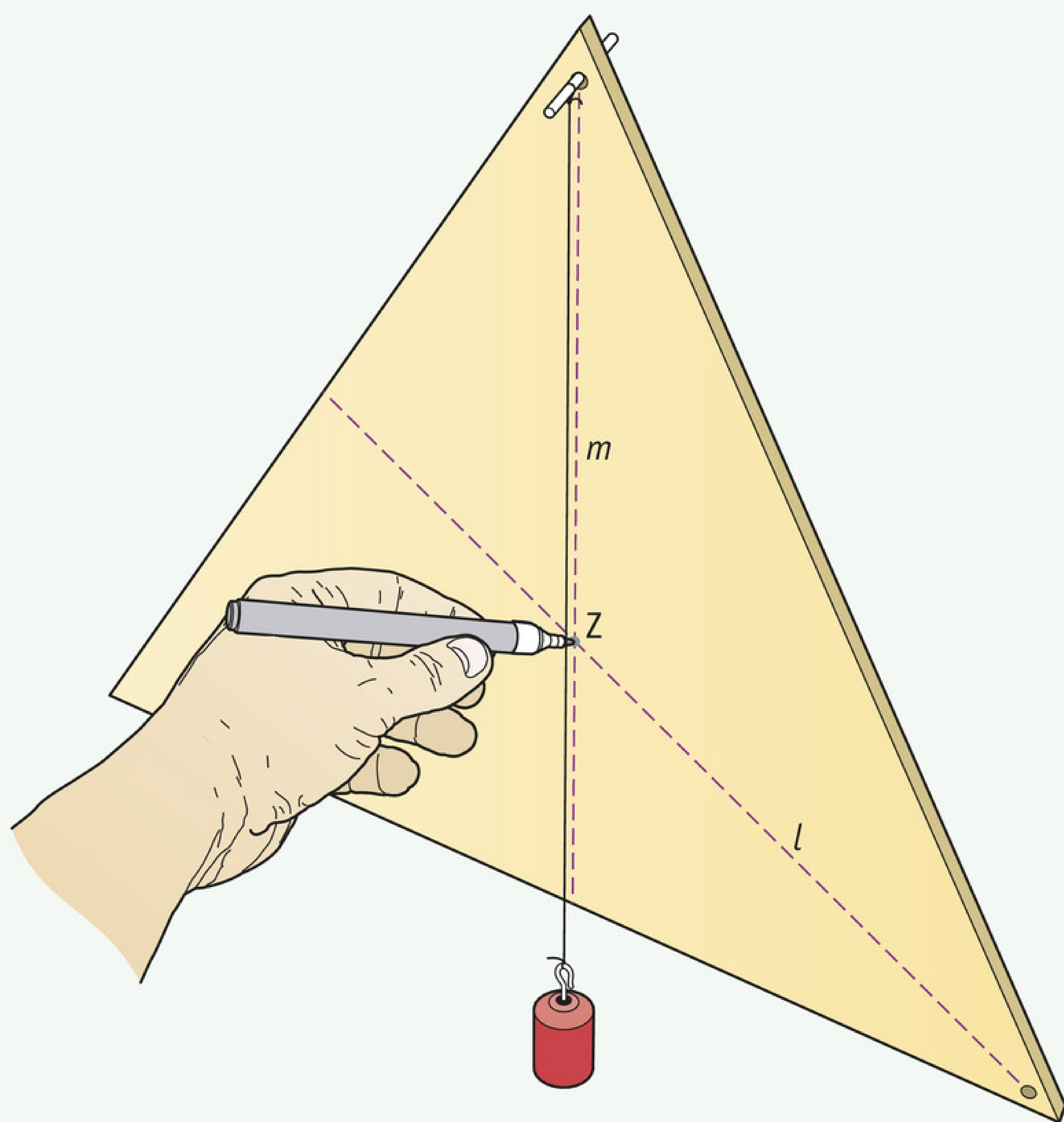
De zwaartekracht werkt op alle punten verspreid door een voorwerp. Eigenlijk zijn het allemaal heel kleine zwaartekrachtjes die samen één grote zwaartekracht vormen. Je zou eigenlijk overal in het voorwerp kleine vectoren moeten tekenen. Als vereenvoudiging kies je echter één punt, het **zwaartepunt** Z, in het midden van het voorwerp.

PLUS HET ZWAARTEPUNT

Elk voorwerp heeft een zwaartepunt. Dat is een (denkbeeldig) punt waar je de zwaartekracht kunt laten 'aangrijpen'. Als het zwaartepunt van een voorwerp boven het steunvlak ligt, is het voorwerp in evenwicht. Als het zwaartepunt zich niet boven het steunvlak bevindt, zal het voorwerp gaan kantelen.

Je kunt de plaats van het zwaartepunt als volgt bepalen:

- Hang het voorwerp op. Teken vanuit het ophangpunt met behulp van een gewicht aan een touwtje een lijn *l* recht naar beneden.
- Hang het voorwerp aan een ander ophangpunt op. Teken vanuit dit tweede ophangpunt een lijn *m* recht naar beneden.
- De lijnen *l* en *m* snijden elkaar in Z. Z is het zwaartepunt (figuur 6).



figuur 6 Zo bepaal je het zwaartepunt.

Dat Z echt het zwaartepunt is, kun je controleren door het voorwerp op je vinger te laten balanceren. Als het voorwerp in evenwicht is, moet je vinger (of je hoofd) zich precies onder Z bevinden (figuur 7).



figuur 7 Een surfer demonstreert waar het zwaartepunt van haar surfplank zit.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1

Beantwoord de volgende vragen.

a Waaraan kun je zien dat er een kracht op een voorwerp wordt uitgeoefend?
b Wat is het verschil tussen een elastische en een plastische vervorming?
c Hoe groot is de zwaartekracht op een voorwerp met een massa van 2 kg?
d Wat betekent 1 cm $\triangleq$ 15 N?

2

Een kracht kun je tekenen als een pijl.

a Wat geeft de richting van de pijl aan?
b Wat geeft de stip aan het begin van de pijl aan?
c Wat geeft de lengte van de pijl aan?

TOEPASSING

3

Bekijk de foto's in figuur 8.
Waaraan kun je zien dat er een kracht werkt of heeft gewerkt:

a op het elastiek?
b op de polsstok?
c op de auto?

figuur 8 Welk effect hebben krachten?


ⓐ


ⓑ


ⓒ

4

Schrijf voor elk van de volgende situaties op:

- of de vervorming elastisch of plastisch is;
- hoe de kracht heet die de vervorming veroorzaakt.

a Marie ploft neer op een lekker zachte tweezitsbank.
b Een hond zakt weg in de pas gevallen sneeuw.
c Een loodgieter maakt een bocht in een koperen buis.
d Een dunne tak buigt door als er een vogel op zit.

5 Bekijk de foto van het elastiek in figuur 8a nog eens.

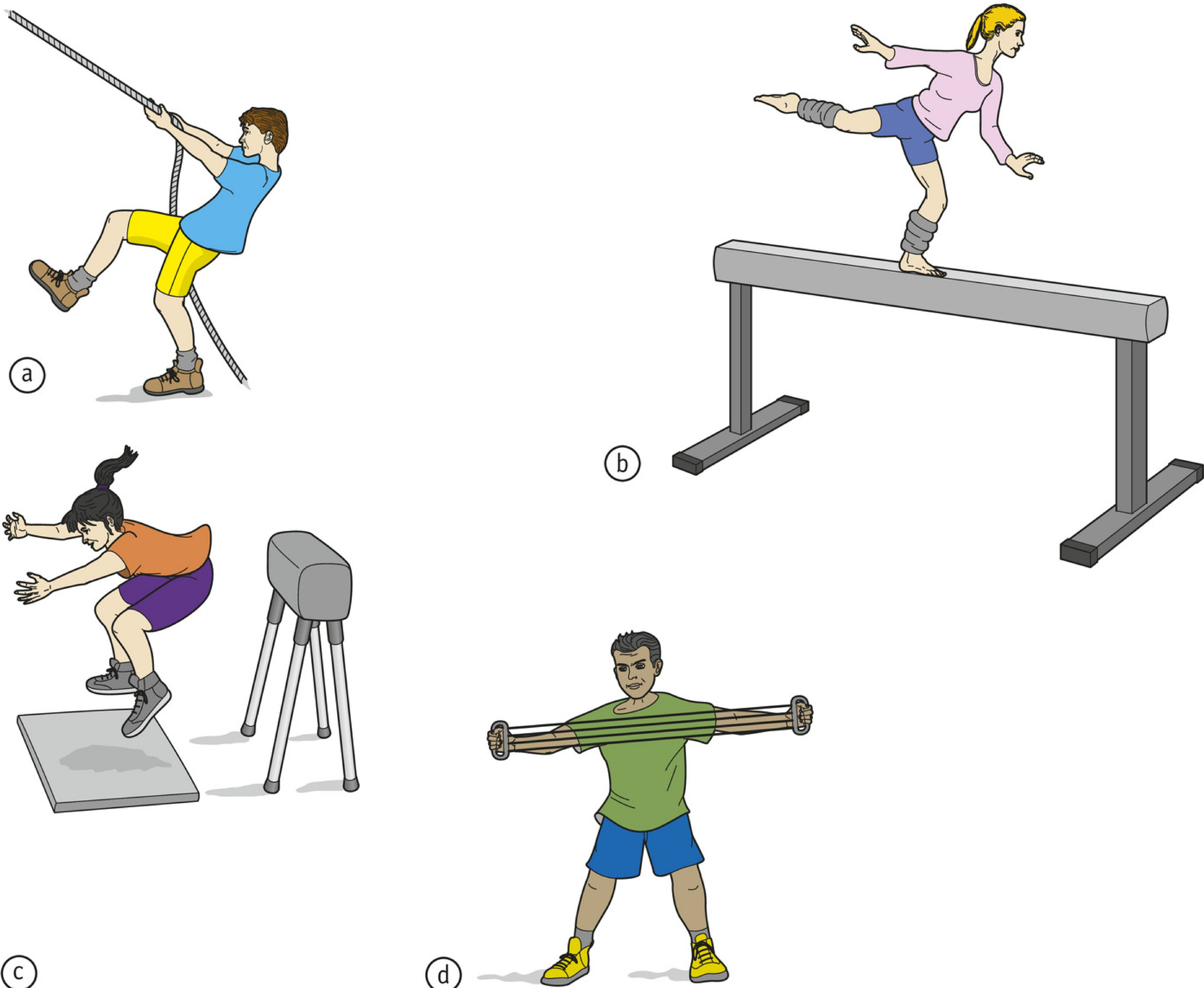
a De kracht die ervoor zorgt dat het elastiek een flink eind uitrekt heet ....

b De kracht die het elastiek uitoefent op de handen van de jongen heet ....

6 Teken in figuur 9 de volgende krachten. Neem als krachtenschaal 1 cm $\triangleq$ 100 N.

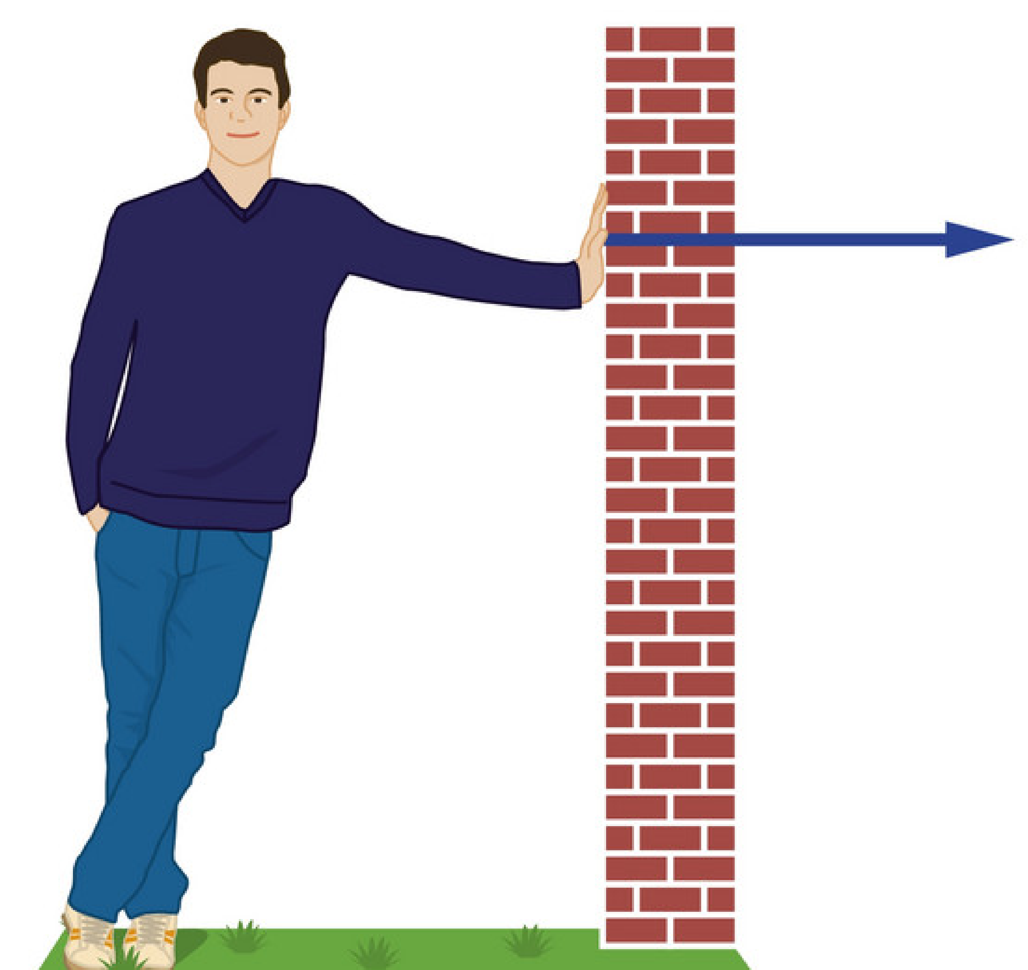
a de kracht van 400 N waarmee Jaap-Jan aan het touw trekt
b de kracht van 450 N waarmee Thea's voet op de balk drukt
c de kracht van 500 N waarmee de aarde aan Marjolein trekt
d de twee krachten van 150 N die de expander op Pim uitoefent

figuur 9 Vier krachten.



7 In figuur 10 is de kracht getekend die Steven met zijn hand op de muur uitoefent.
Welke krachtenschaal heeft de tekenaar gebruikt:

a als de kracht op de muur 46 N is?
b als de kracht op de muur 69 N is?



figuur 10 De kracht van de hand op de muur.

8 Bereken hoe groot de zwaartekracht is:

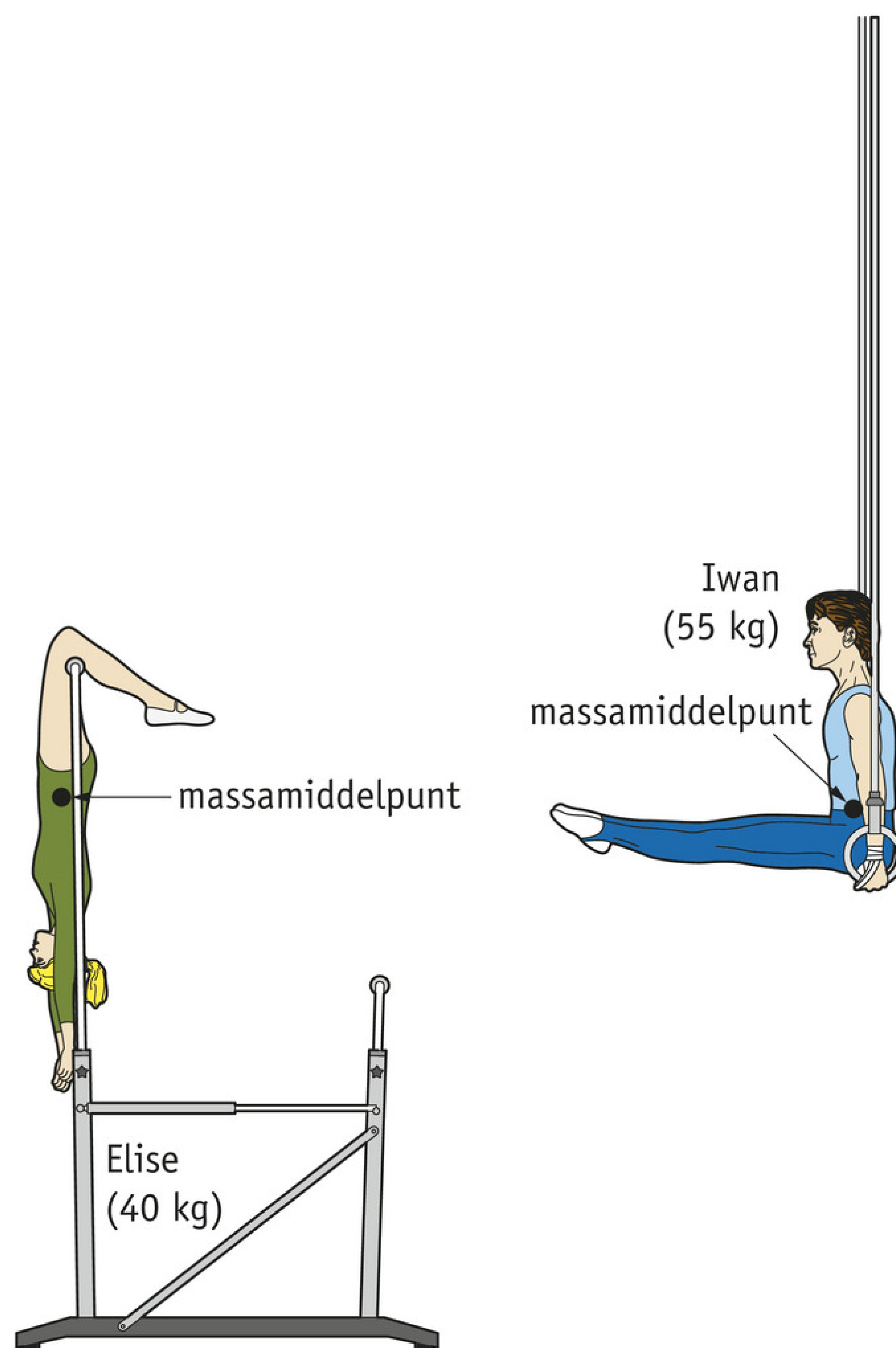
a op een zak hondenvoer van 1,5 kg.

b op een reep chocolade van 45 g.

9 In figuur 11 zie je twee turners die een strijd tegen de zwaartekracht voeren.

a Bereken hoe groot de zwaartekracht is op Elise en op Iwan.

b Teken in elke tekening de zwaartekracht als een pijl.
Gebruik als krachtenschaal 1 cm ≙ 200 N.



figuur 11 Elise en Iwan voeren een strijd tegen de zwaartekracht.

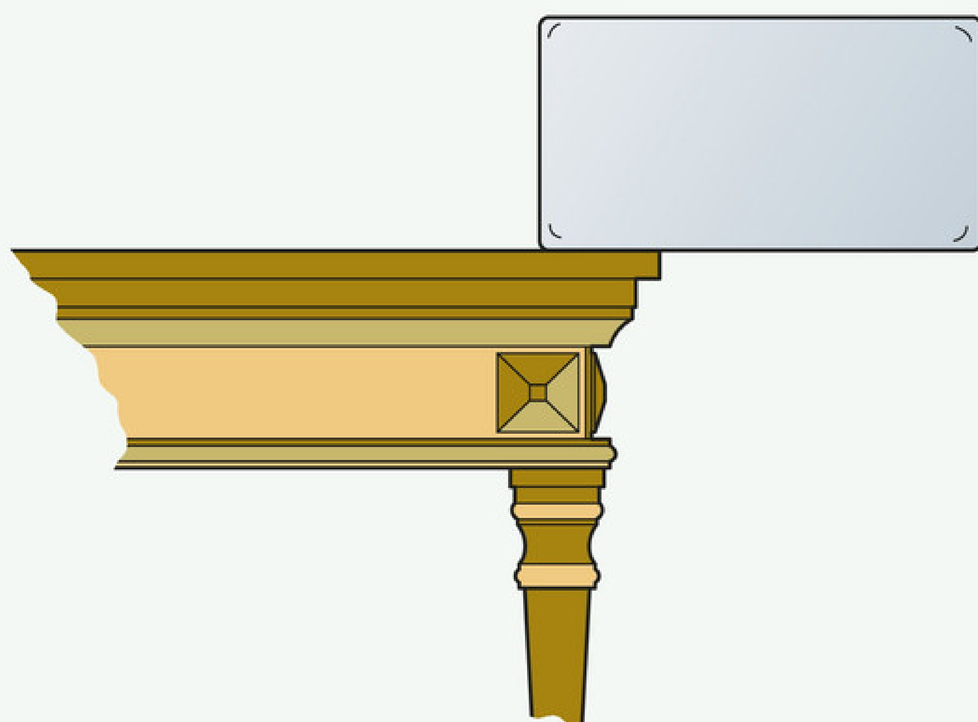


Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS HET ZWAARTEPUNT

10 Een doos steekt een eind buiten de tafel uit (figuur 12). Toch valt de doos niet van de tafel.

a Geef in de figuur met rood aan wat het steunvlak van de doos is.
b Kleur in de figuur het deel van de doos waar zich het zwaartepunt bevindt, blauw.
c Hoe zou je ervoor kunnen zorgen dat het zwaartepunt zich in dit deel van de doos bevindt?



figuur 12 Een doos op een tafel.

★ 11 Jara staat stil op één been (figuur 13).

a Wat is het steunvlak in de situatie van figuur 13?
b Wat weet je dus over het zwaartepunt van Jara's lichaam?
c Jara laat haar bovenlichaam nog verder naar rechts overhellen.
Hoe komt het dat ze dan haar evenwicht dreigt te verliezen? Gebruik het woord 'zwaartepunt' in je uitleg.
d Wat kan Jara doen om in haar nieuwe houding het evenwicht te herstellen?



figuur 13 Als je op één been staat, is het moeilijker om je evenwicht te bewaren.

2 Meer dan één kracht

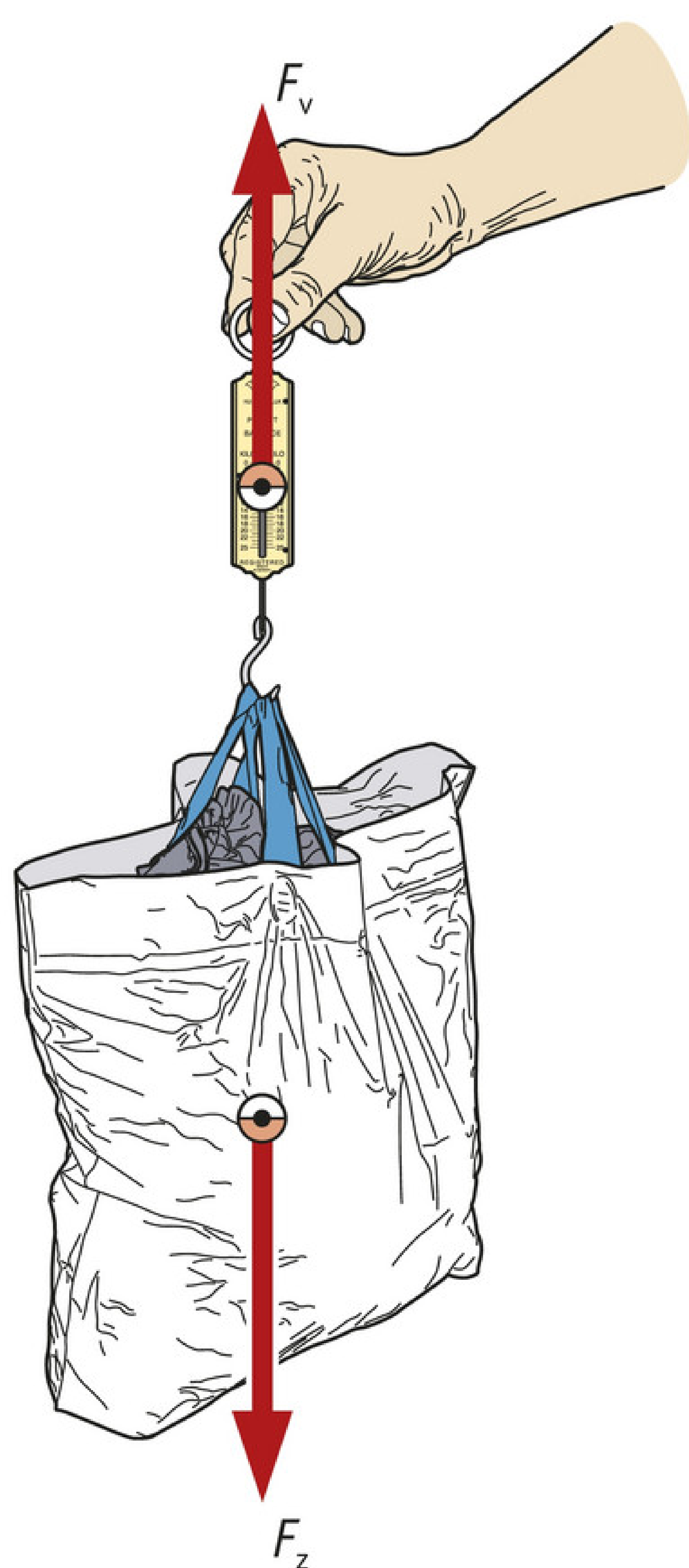
LEERDOELEN

2.2.1 Je kunt de symbolen van krachten benoemen.
2.2.2 Je kunt beredeneren hoe groot de krachten in een situatie van evenwicht zijn.
2.2.3 Je kunt de veerconstante van een veer bepalen.
2.2.4 Je kunt de resulterende kracht berekenen van krachten die in dezelfde lijn liggen.
PLUS 2.2.5 Je kunt met de parallellogrammethode de resulterende kracht bepalen van twee krachten die niet in dezelfde lijn liggen.

Bij een wedstrijd armpjedrukken kunnen de twee tegenstanders elkaar lang in evenwicht houden. Ook al drukken ze zo hard ze kunnen, hun handen komen niet in beweging. Zolang de kracht naar links even groot is als de kracht naar rechts, verandert er niets.

TWEE KRACHTEN IN EVENWICHT

In figuur 1 zie je een zak aardappels die aan een krachtmeter hangt. Op de zak werken twee krachten: de zwaartekracht F_z en de veerkracht F_v. De zwaartekracht werkt naar beneden, de veerkracht werkt omhoog.

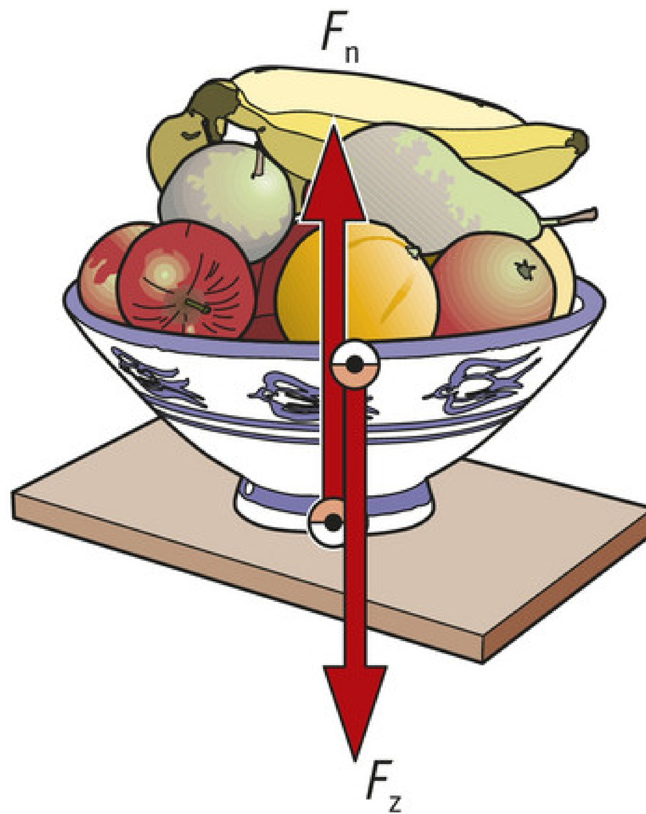


figuur 1 Zwaartekracht en veerkracht.

In deze situatie houden de krachten elkaar in evenwicht. Ze trekken even hard aan de zak, maar in tegenovergestelde richtingen. Daardoor gebeurt er niets: de zak beweegt niet omhoog en ook niet omlaag. De veerkracht en de zwaartekracht heffen elkaar op.

Als je een voorwerp aan een veer hangt, is er niet meteen evenwicht. Dat zie je ook: het voorwerp beweegt naar beneden en de veer rekt steeds verder uit. Ondertussen wordt de veerkracht steeds groter. Dat gaat door tot de veerkracht even groot is als de zwaartekracht. Op dat moment is er evenwicht.

In figuur 2 zie je nog een voorbeeld van twee krachten die evenwicht maken. Als het tafelblad er niet was, zou de fruitschaal naar beneden vallen. Dat gebeurt niet, omdat het tafelblad een kracht omhoog uitoefent, loodrecht op het tafelblad: de **normaalkracht** F_n. De normaalkracht maakt evenwicht met de zwaartekracht, zodat de fruitschaal op zijn plaats blijft staan.

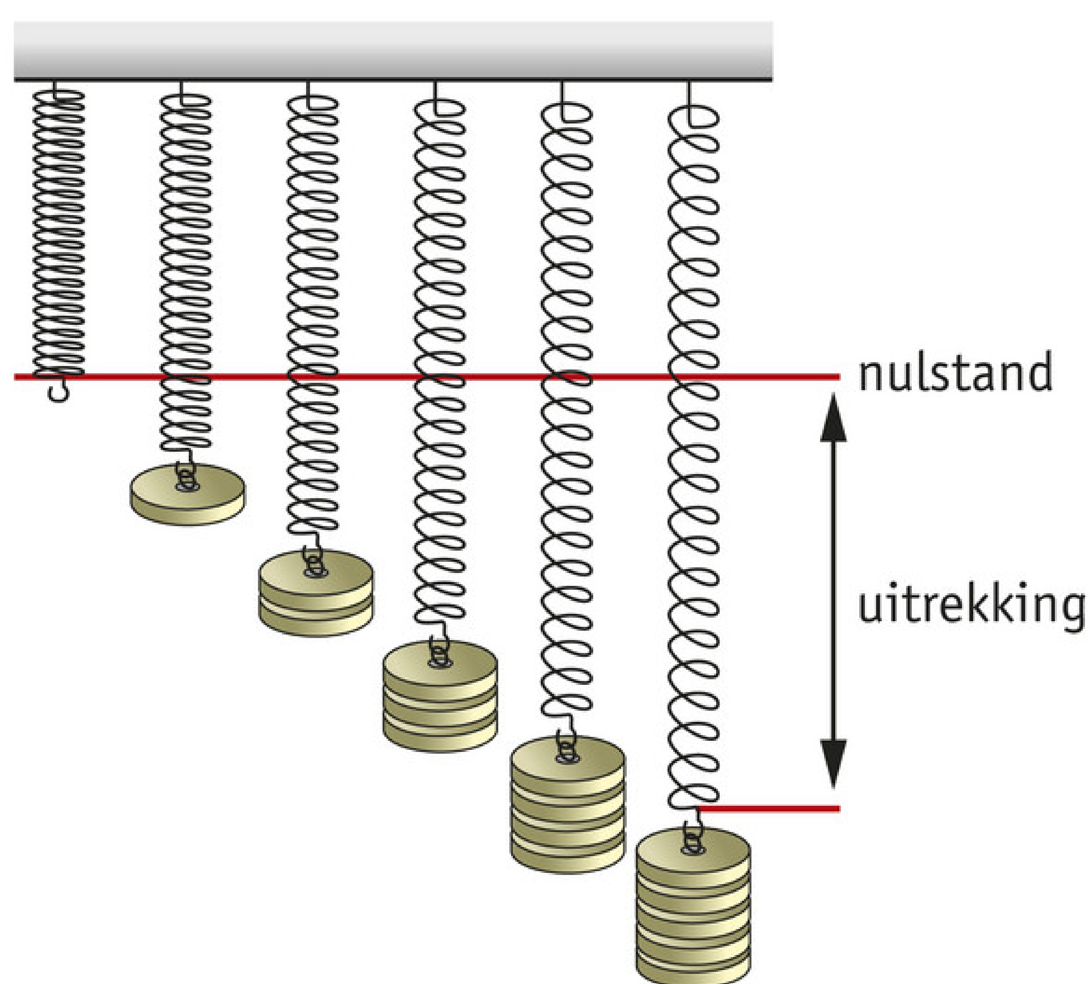


figuur 2 Zwaartekracht en normaalkracht.

KRACHT EN UITREKKING

PROEF 1

In figuur 3 is getekend hoe je het verband kunt bepalen tussen de kracht op een veer en de **uitrekking**: het aantal centimeter waarmee de lengte van de veer toeneemt. Je doet dat door steeds meer gewichtjes aan de veer te hangen en elke keer de uitrekking te bepalen. Je vergelijkt daarvoor de lengte van de veer met de **nulstand**: de lengte bij het begin van de proef, als de veer niet wordt uitgerekt.

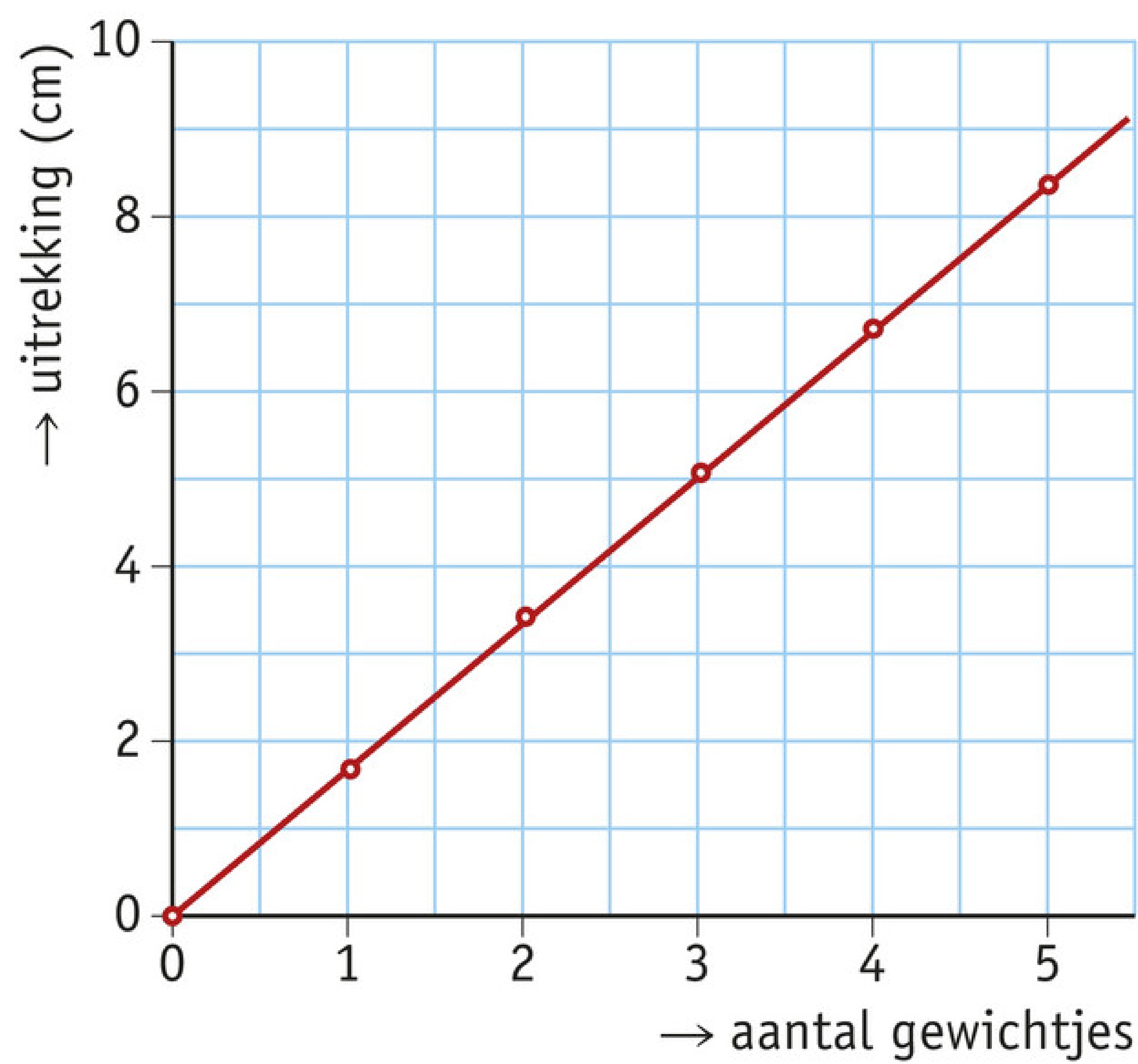


figuur 3 Proef met een spiraalveer.

Als je gewichtjes gebruikt met een massa van 100 g, neemt de kracht op de veer telkens toe met (afgerond) 1,0 N. Zo kun je aantonen dat de uitrekking **recht evenredig** is met de kracht:

- Als de kracht 2× zo groot wordt, wordt de uitrekking ook 2× zo groot.
- Als de kracht 3× zo groot wordt, wordt de uitrekking ook 3× zo groot.
- Enzovoort.

Als je de meetresultaten verwerkt tot een grafiek, is het resultaat een rechte lijn door de oorsprong (figuur 4).



figuur 4 De grafiek van de proef met de spiraalveer.

Omdat de uitrekking van een veer recht evenredig is met de kracht, krijg je steeds hetzelfde getal als je de kracht deelt door de bijbehorende uitrekking. Dit constante getal *C* wordt de **veerconstante** genoemd. In symbolen:

$$C = \frac{F}{u}$$

Hierin is:
- *C* de veerconstante in newton per meter (N/m);
- *F* de kracht die aan de veer trekt in newton (N);
- *u* de uitrekking van de veer in meter (m).

Vaak wordt de veerconstante ook in newton per centimeter (N/cm) weergegeven, omdat dit praktischer is bij het noteren van de waardes.

De veerconstante geeft aan hoe ver een veer uitrekt als er een kracht op wordt uitgeoefend. Een veer met *C* = 200 N/cm is bijvoorbeeld veel stugger dan een veer met *C* = 2 N/cm.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een veer is 23,2 cm lang als er niets aan hangt, en 31,8 cm als er een gewichtje van 250 g aan hangt.
Bereken met deze gegevens de veerconstante van de veer.

gegevens $u = 31{,}8 - 23{,}2 = 8{,}6$ cm
$m = 250$ g $= 0{,}25$ kg

gevraagd $C = ?$

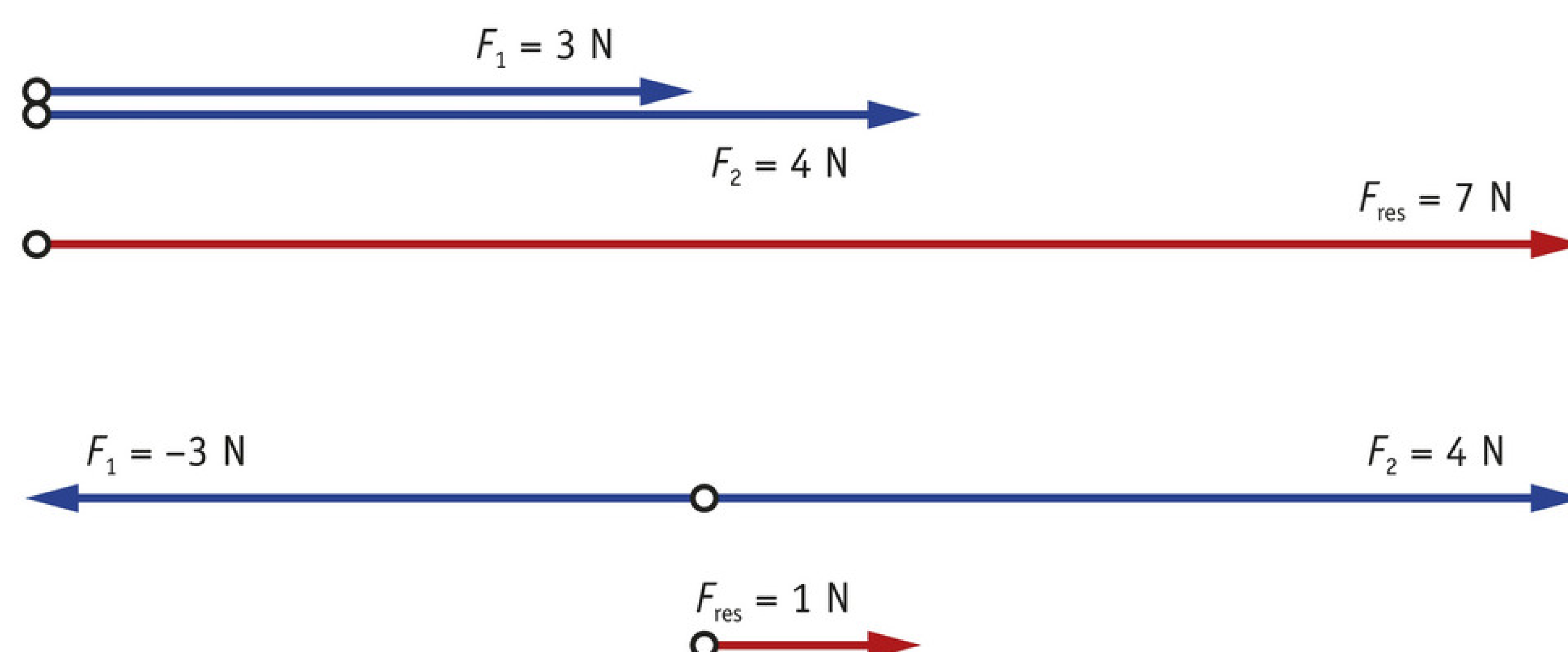
uitwerking $F_z = m \cdot g = 0{,}25 \times 9{,}8 = 2{,}45$ N

$$C = \frac{F}{u} = \frac{2{,}45}{8{,}6} = 0{,}28 \text{ N/cm}$$

DE RESULTANTE BEPALEN

Als krachten evenwicht maken, heffen ze elkaar op: het lijkt wel alsof er helemaal geen krachten op het voorwerp werken. Je zegt in dat geval dat de **resultante** F_{res} op het voorwerp 0 N is. De resultante is de optelsom van alle krachten samen. De resultante wordt ook wel ‘resulterende kracht’, de ‘nettokracht’ of de ‘somkracht’ genoemd.

Als krachten langs dezelfde lijn liggen, kun je de resultante berekenen door de krachten bij elkaar op te tellen. Je moet daarbij rekening houden met de richting die de krachten hebben. Daarom tel je krachten in de ene richting mee als positieve getallen en krachten in de tegenovergestelde richting als negatieve getallen (figuur 5). Welke richting je daarbij als positief neemt, mag je zelf weten.



figuur 5 Krachten optellen.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Joey doet een wedstrijdje armpjedrukken tegen zijn vader (figuur 6). Om het eerlijker te maken helpt zijn zus ook mee. Vader duwt met een kracht van 189 N naar rechts. Joey duwt met een kracht van 93 N naar links, zijn zus met 98 N.
Bereken welke partij aan de winnende hand is.

gegevens F_1 = 189 N; F_2 = −93; N; F_3 = −98 N

gevraagd F_{res} = ?

uitwerking $F_{res} = F_1 + F_2 + F_3$
$= 189 - 93 - 98 = -2$ N

De resultante is 2 N in het voordeel van Joey en zijn zus. Joey en zijn zus zijn dus aan de winnende hand.

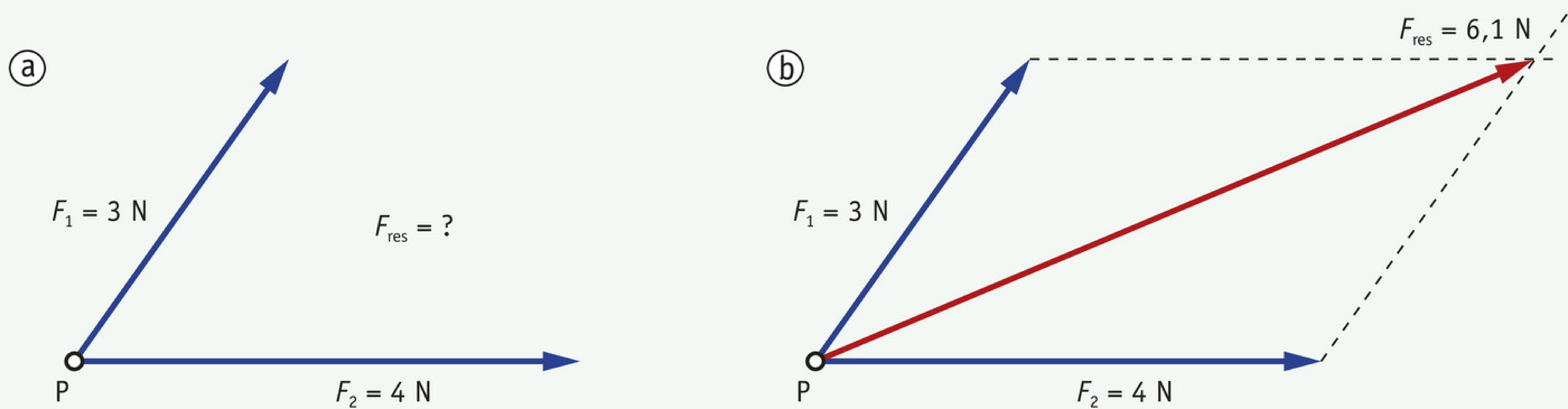


figuur 6 Een wedstrijd armpjedrukken.

PLUS KRACHTEN SAMENSTELLEN

In figuur 7a zie je twee krachten die in verschillende richtingen werken. In zo'n geval is er geen eenvoudige manier om de resultante te berekenen. Dat komt doordat krachten vectoren zijn. Niet alleen hun grootte is belangrijk, ook hun richting.

figuur 7 Zo bepaal je de resultante van F_1 en F_2.



Om in deze situatie de resultante te vinden, moet je de krachten F_1 en F_2 samenstellen. Dat doe je door een tekening op schaal te maken (figuur 7b). Dat gaat zo:

1 Kies een geschikte krachtenschaal. Teken de krachten op schaal, onder de juiste hoek.
2 Je kunt de twee pijlen zien als de twee zijden van een parallellogram. Maak dit parallellogram af.
3 Teken een pijl van het beginpunt P naar het tegenoverliggende hoekpunt (de diagonaal). Deze pijl geeft de richting van de resultante aan.
4 Meet de lengte van deze pijl. Met behulp van de krachtenschaal kun je nu de grootte van de resultante berekenen.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke drie krachten worden aangeduid met de symbolen F_n, F_v en F_z?
b Welke twee meetgegevens heb je nodig om de uitrekking te kunnen bepalen?
c Met welke formule kun je de veerconstante *C* van een spiraalveer berekenen?
d Voor welke eigenschap van een veer is de veerconstante een maat?

2 Vul de ontbrekende gegevens in tabel 1 in.

tabel 1 Enkele grootheden en eenheden.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
	F		N
uitrekking	*u*		
	C		

TOEPASSING

3 Een bergbeklimmer neemt tijdens het abseilen even rust (figuur 8).

a Welke twee krachten werken er op de bergbeklimmer?

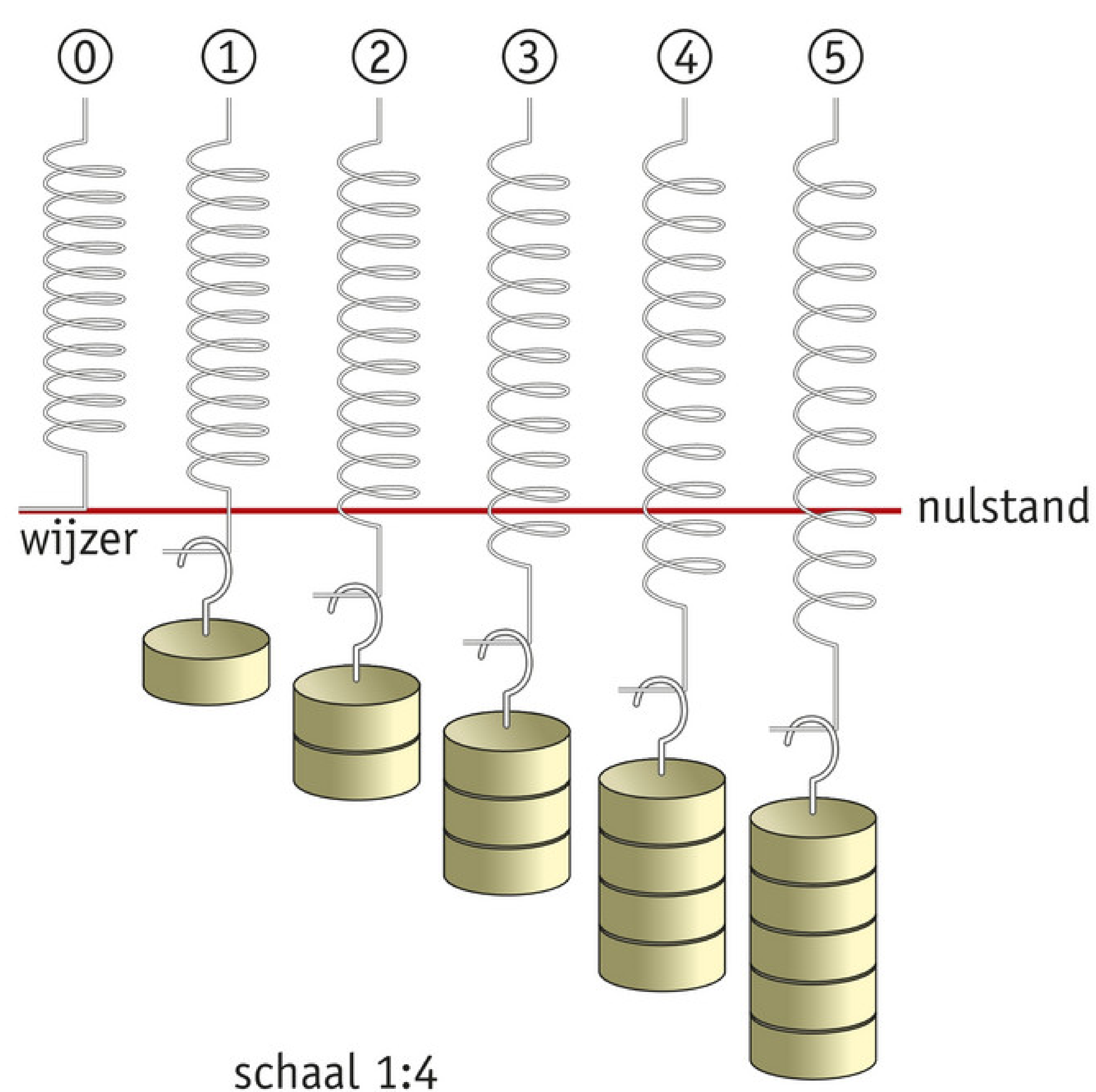
b Geef in de figuur aan:
- waar de twee krachten aangrijpen;
- in welke richting de krachten werken;
- langs welke lijn de krachten werken.



figuur 8 Een bergbeklimmer.

4 Willem voert de proef uit die in figuur 9 is getekend.

a In tabel 2 zie je een deel van zijn meetresultaten.
Vul de tabel verder in.

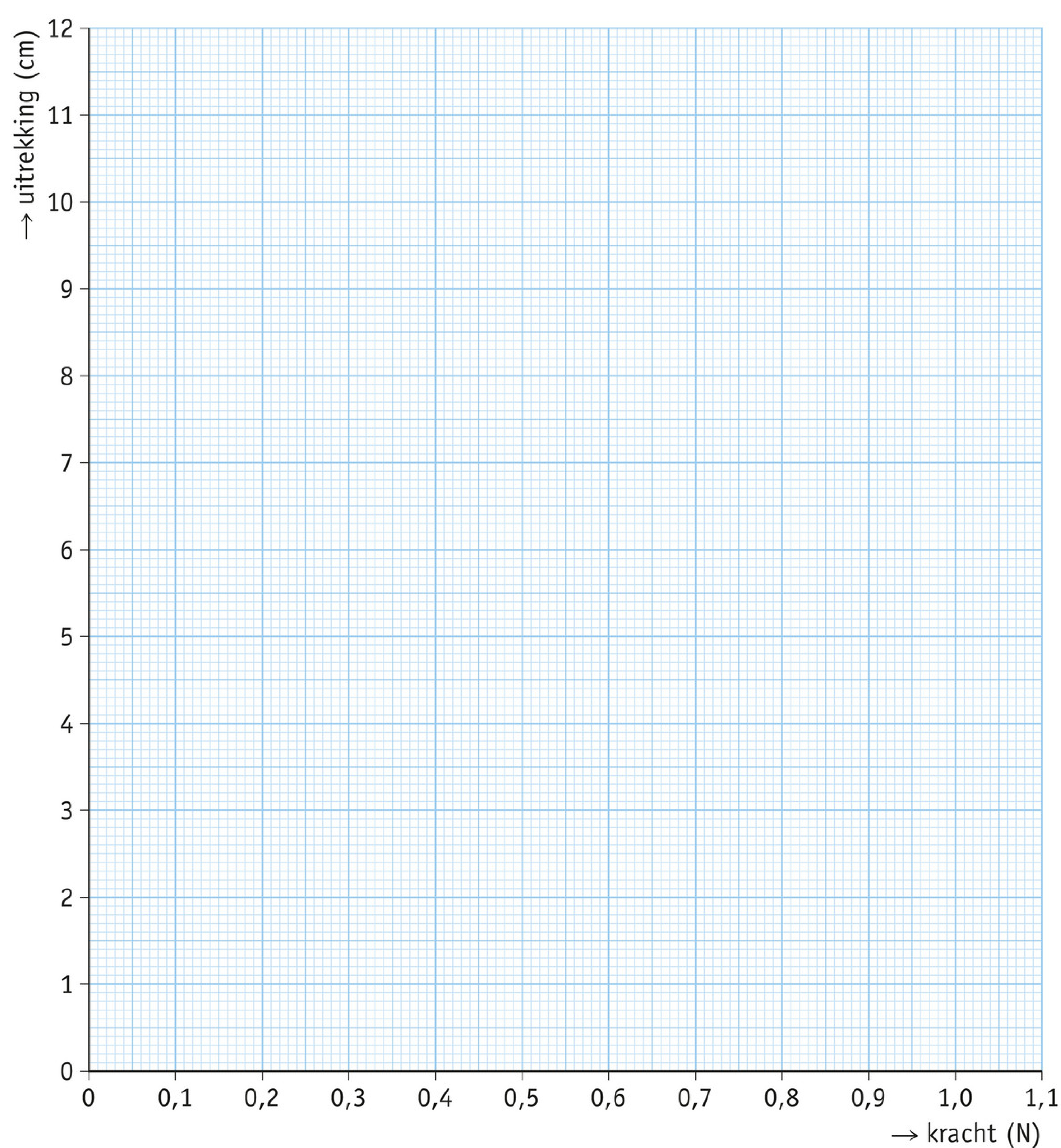


figuur 9 De veer rekt steeds meer uit.

tabel 2 De meetresultaten van Willem.

aantal gewichtjes	kracht op de veer (N)	uitrekking (cm)
0	0	0
1	0,15	1,8
2	0,30	

b Zie de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken*.
Teken in het diagram in figuur 10 de grafiek van deze proef.



figuur 10 Het verband tussen kracht en uitrekking.

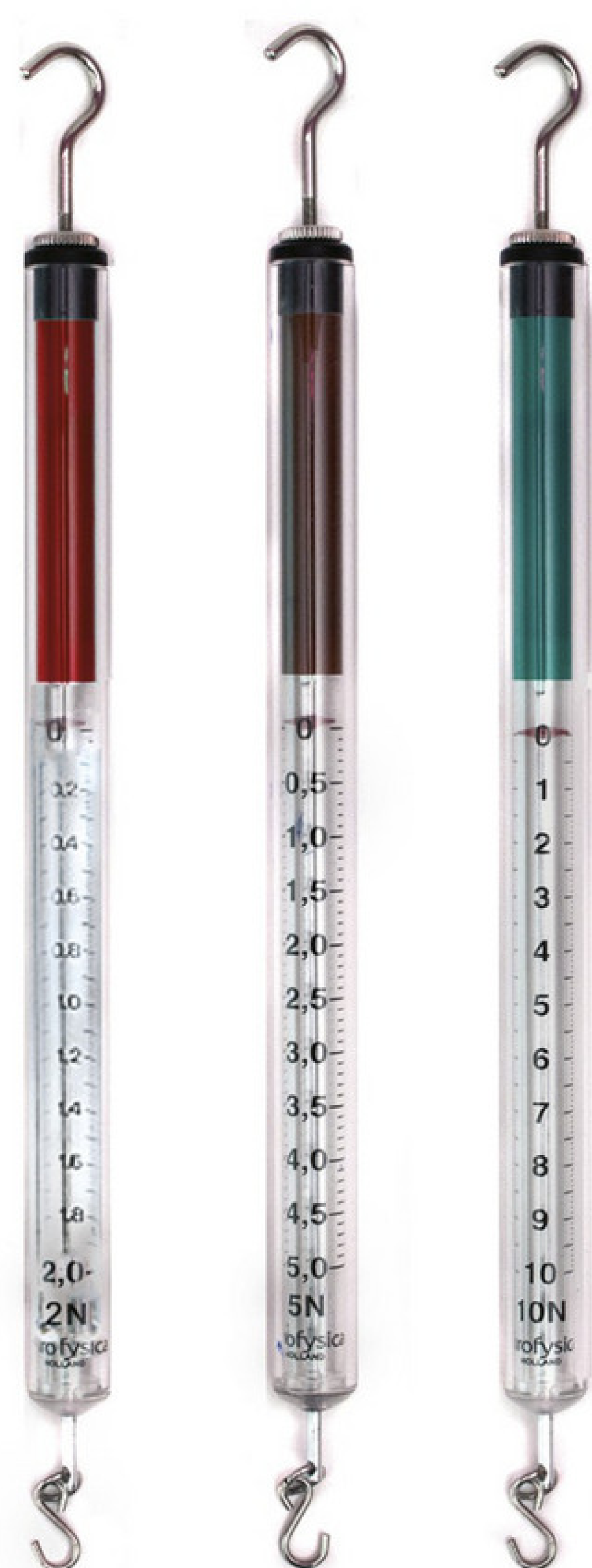
c Bepaal met behulp van de grafiek:
- hoe ver de veer wordt uitgerekt door een kracht van 0,5 N;
- hoe ver de veer wordt uitgerekt door een kracht van 0,8 N.

5 In figuur 11 zie je drie even lange krachtmeters: rood (0-2 N), bruin (0-5 N) en groen (0-10 N). De afstand tussen het nulpunt en het eindpunt van de schaal is bij elke krachtmeter 8,4 cm.

a In welke krachtmeter zit de meest stugge veer? Waaraan kun je dat zien zonder eerst de veerconstante te bepalen?

b Zie de vaardigheid *Werken met formules*. Bereken de veerconstante van de veer in de rode krachtmeter.

c Beredeneer zonder een formule te gebruiken hoe groot de veerconstante van de veren in de andere krachtmeters is.



figuur 11 Drie krachtmeters.

 **Meer oefening nodig met *De veerconstante berekenen*? Ga naar de Vaardigheidstrainer.**

★ 6 Ellen doet een proef met een spiraalveer (C = 0,35 N/cm). Eerst meet ze de lengte van de veer als er niets aan hangt: 22 cm. Daarna hangt ze een blokje van 250 g aan de veer. Bereken hoe groot de lengte van de veer nu wordt. Schrijf de hele berekening overzichtelijk op.

7 Twee krachten F_1 = 3 N en F_2 = 4 N werken langs dezelfde lijn. Hoe groot is de resultante van F_1 en F_2:

a als ze in dezelfde richting werken?

b als ze in tegenovergestelde richting werken?

★ 8 Op een bureau liggen vier boeken opgestapeld (figuur 12, situatie 1).

a Bereken de zwaartekracht op elk boek.

b Bereken in deze situatie de normaalkracht op boek 4.

c Joost wil iets opzoeken in boek 3. Even later legt hij boek 3 terug op de stapel (figuur 12, situatie 2). Onderstreep de juiste woorden. De normaalkracht op boek 3 is in situatie 1 *groter dan* / *kleiner dan* / *even groot als* de normaalkracht op boek 3 in situatie 2.

d Kijk naar beide situaties. Op welk boek is de normaalkracht het kleinst?



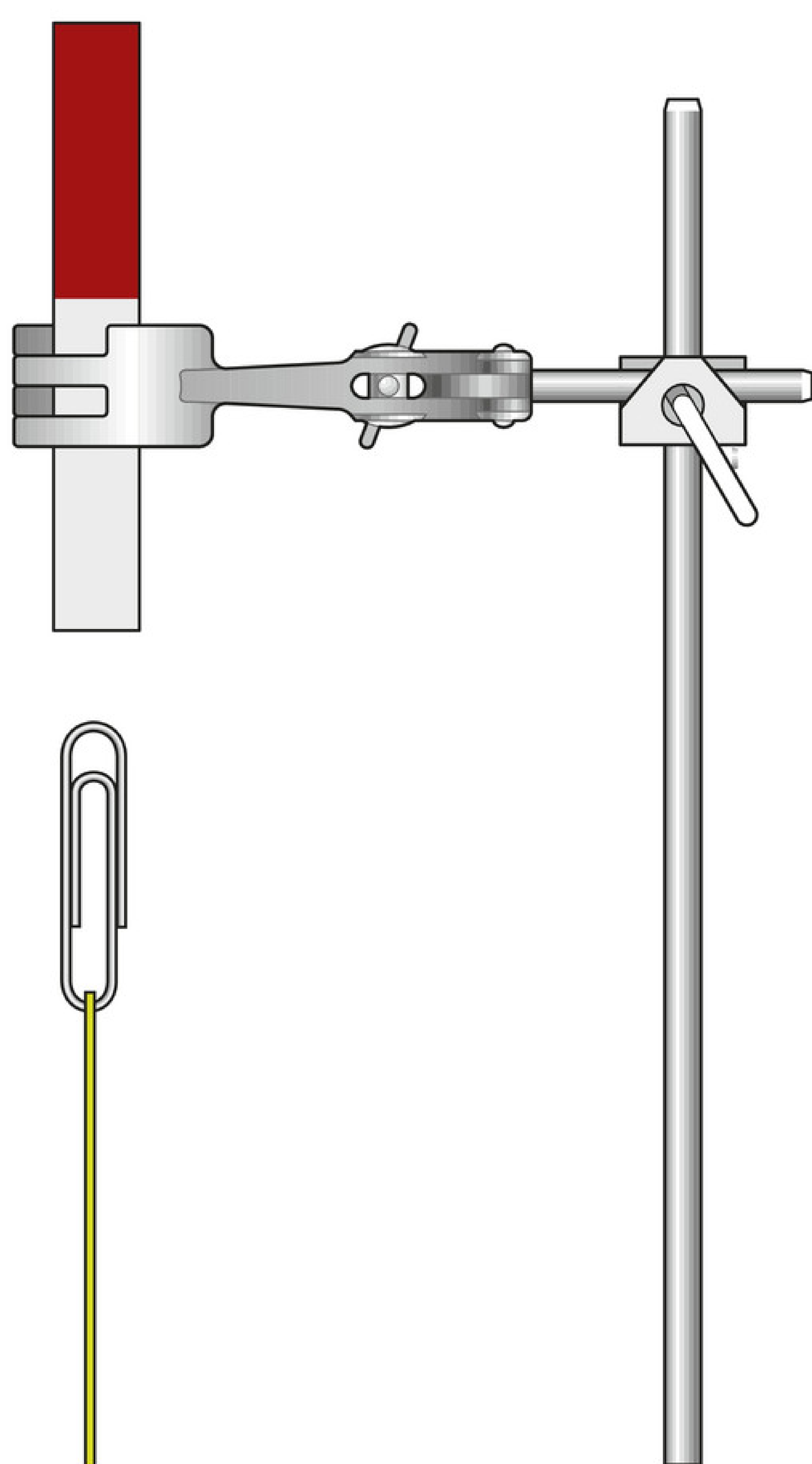
figuur 12 Boeken op een bureau.

9 In figuur 13 zie je hoe je een paperclip aan een touwtje kunt laten zweven met behulp van een magneet. Op de paperclip werken drie krachten.

a Welke twee krachten zijn naar beneden gericht?

b Welke kracht op de paperclip is omhooggericht?

c Welk van de drie krachten is het grootst? Hoe kun je dat beredeneren?



figuur 13 De zwevende paperclip.

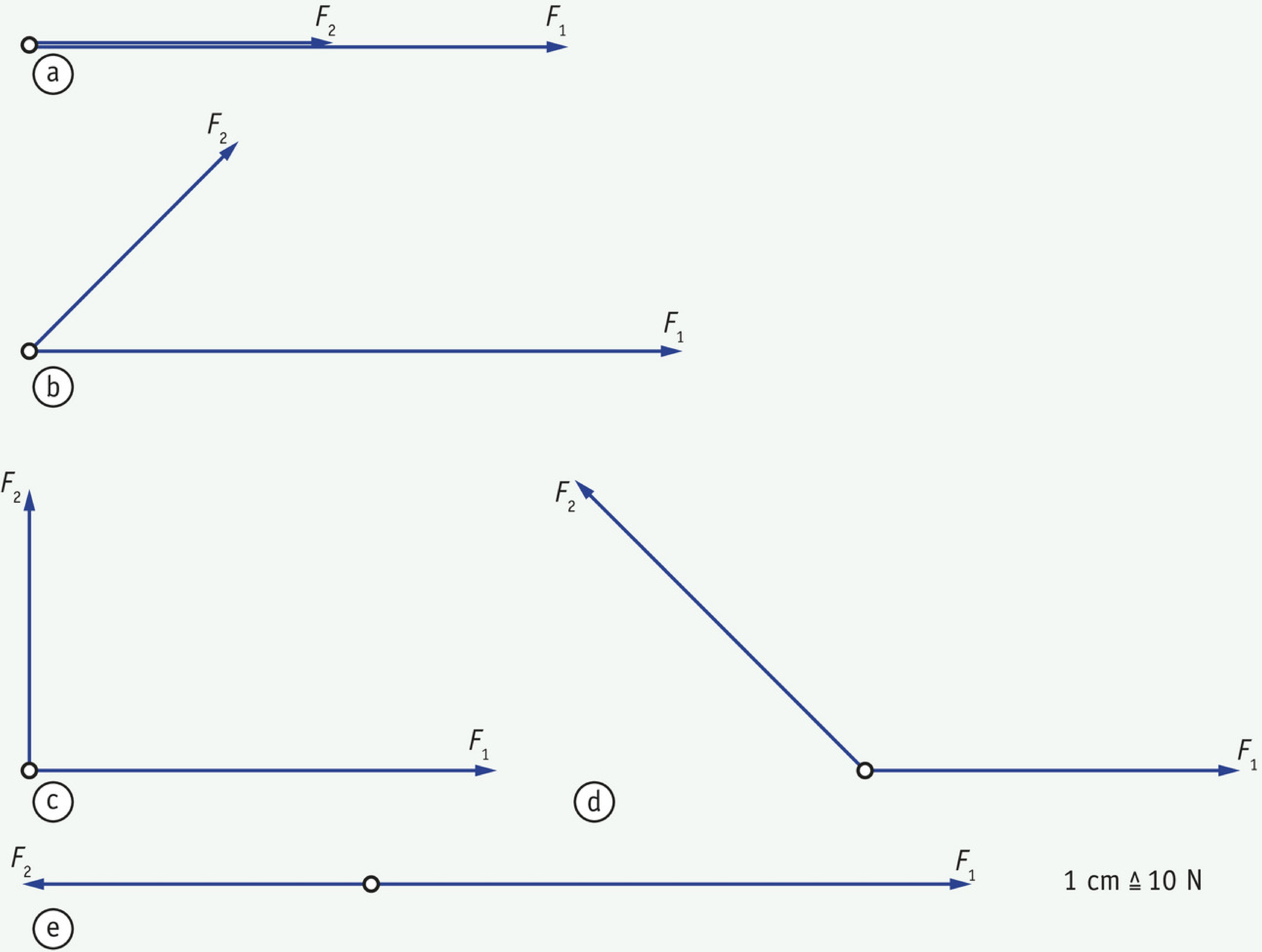
 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS KRACHTEN SAMENSTELLEN

10 In figuur 14 zie je vijf tekeningen a tot en met e waarin twee krachten F_1 en F_2 in hetzelfde punt aangrijpen.

a Teken in elk van de vijf tekeningen de resultante van F_1 en F_2.

figuur 14 Vijf keer twee krachten.



b Vul in tabel 3 voor elke tekening in:
- hoe lang de pijl van elke resultante is.
- hoe groot de resultante volgens de krachtenschaal is.

tabel 3 Lengte van de pijl en resultante.

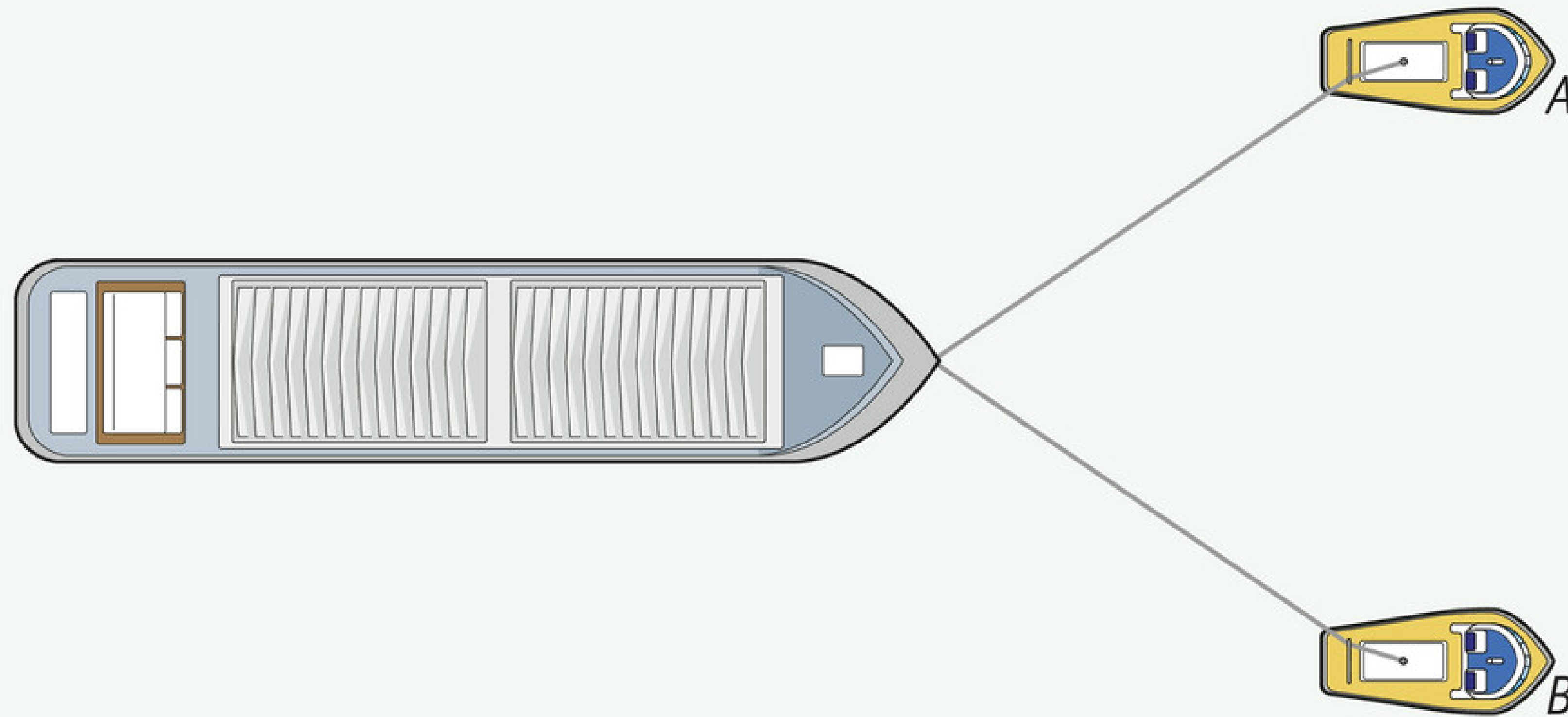
tekening	lengte pijl (cm)	resultante (N)
a		
b		
c		
d		
e		

11 In figuur 15 is getekend hoe de sleepboten A en B een vrachtboot vooruit trekken. Elke sleepboot oefent een kracht van 600 kN op de vrachtboot uit.

a Teken deze krachten in figuur 15. Kies zelf een geschikte krachtenschaal.

b Teken de resultante van deze twee krachten.

c Bepaal de grootte van de resultante.



figuur 15 De resultante bepalen.

3 Hefbomen

LEERDOELEN

2.3.1 Je kunt het principe van een hefboom uitleggen.
2.3.2 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen moment, kracht en arm.
2.3.3 Je kunt de arm van een kracht meten.
2.3.4 Je kunt rekenen met de momentenwet.
PLUS 2.3.5 Je kunt de momentenwet toepassen bij de hefboomwerking in je onderarm.

Voor kleuters is spelen op een wip erg leuk, vooral als de kleuters bijna even zwaar zijn. Als de ene kleuter lichter is dan de andere, dan komt hij niet meer naar beneden. Als de zwaardere kleuter naar voren schuift, komt de wip weer in evenwicht. Blijkbaar is de afstand tot het draaipunt ook belangrijk.

KENMERKEN VAN EEN HEFBOOM

Een wip is een goed voorbeeld van een **hefboom**. Als de kleuters in figuur 1 omhoog of omlaag bewegen, blijft alleen het midden van de balk op zijn plaats. De rest van de balk draait om dit punt heen: het **draaipunt**.



figuur 1 Twee kleuters in de speeltuin.

Bij een wip heb je te maken met twee krachten die tegen elkaar in werken. De zwaartekracht op de linker kleuter wil de wip tegen de wijzers van de klok in laten bewegen. De zwaartekracht op de rechter kleuter wil de wip met de wijzers van de klok mee laten bewegen. Dit kan de kleuter aan de linkerkant goed merken als haar vriendin opeens opstaat.

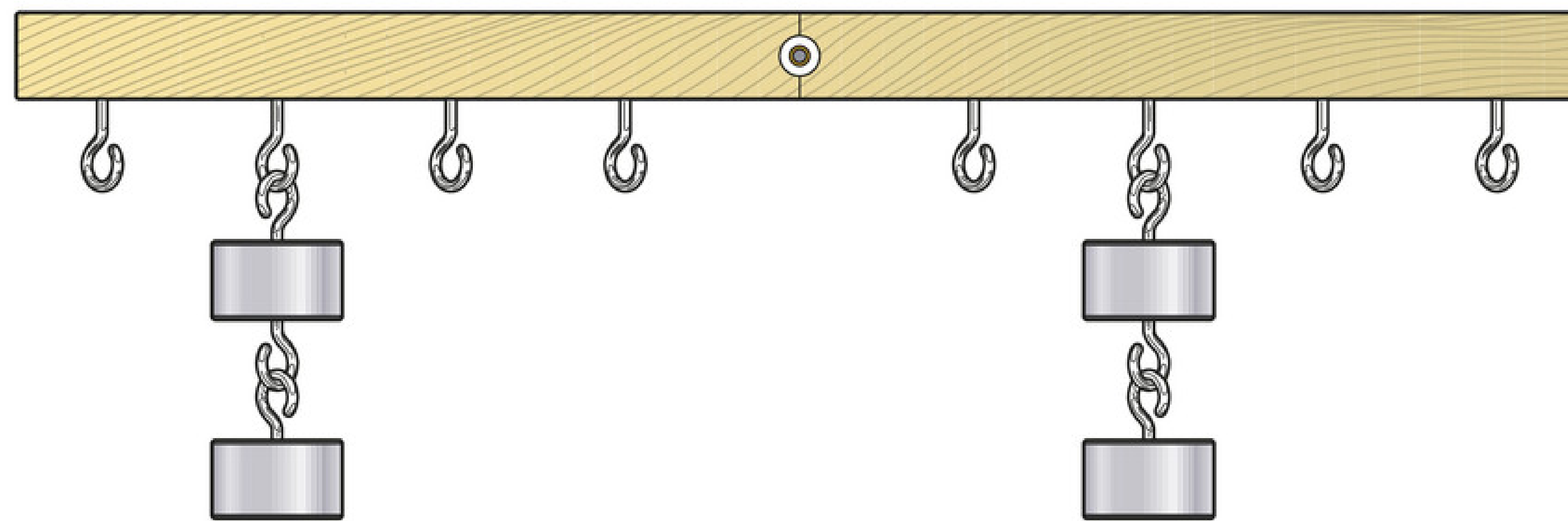
HET MOMENT VAN EEN KRACHT

PROEF 2+3

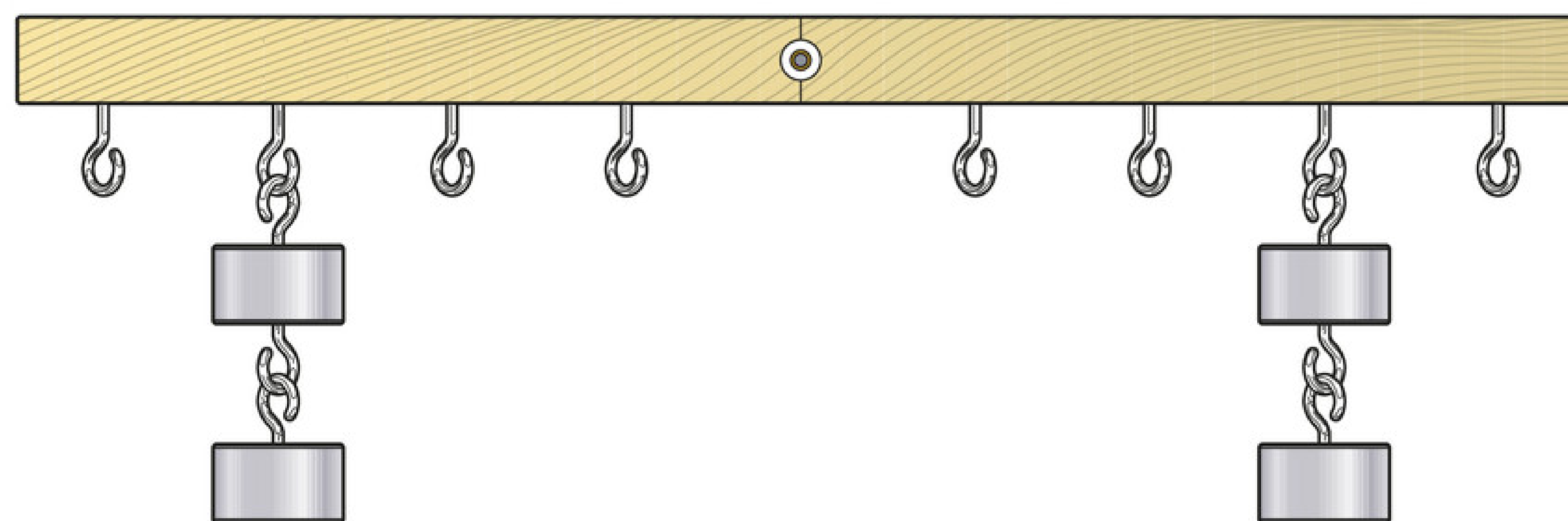
In figuur 2 zie je een eenvoudige hefboom.

- In situatie a is de hefboom niet in evenwicht. Als je hem loslaat, draait hij linksom, tegen de wijzers van de klok in.
- In situatie b is de hefboom in evenwicht.
- In situatie c is de hefboom niet in evenwicht. Als je hem nu loslaat, draait hij rechtsom, met de wijzers van de klok mee.

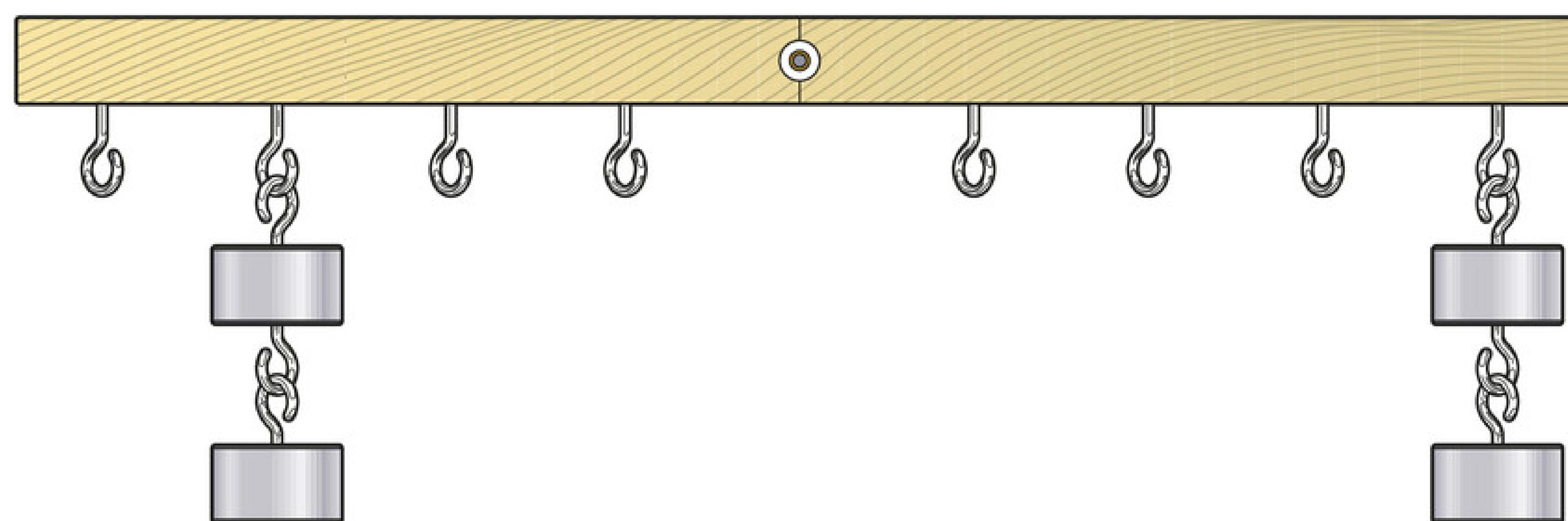
figuur 2 Een hefboom in drie situaties.



(a) linksom draaien



(b) evenwicht



(c) rechtsom draaien

De krachten op de hefboom zijn steeds even groot: het aantal gewichtjes verandert niet. Toch betekent dat nog niet dat er evenwicht is. Het maakt ook uit waar de krachten werken. Voor evenwicht zijn dus twee factoren van belang: de grootte van de krachten en de afstand tussen de krachten en het draaipunt. Deze afstand noem je de **arm**.

Je kunt deze twee factoren combineren tot één begrip: het moment van de kracht. Het **moment** = de grootte van de kracht × de lengte van de arm. Of in formulevorm:

$$M = F \cdot r$$

Hierin is:

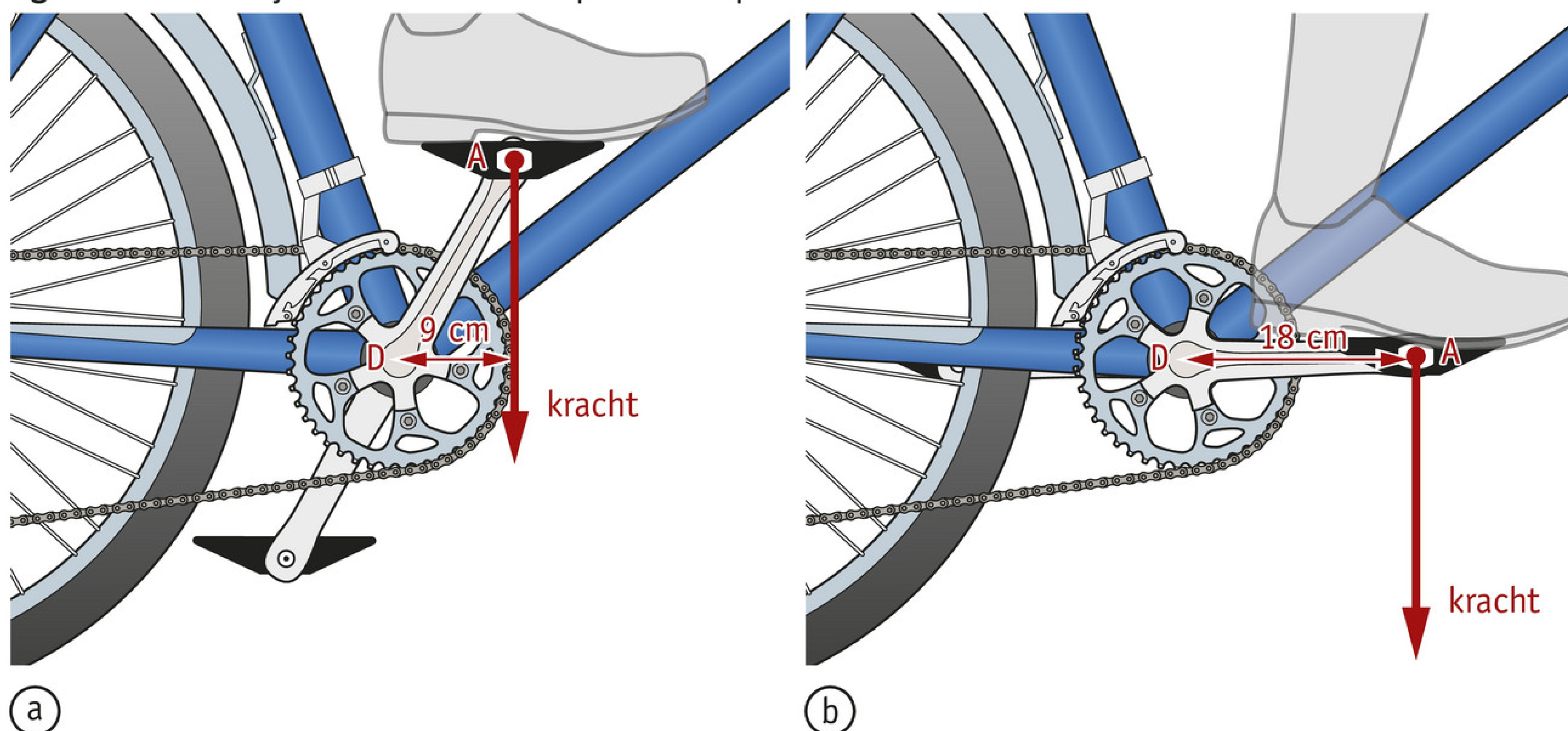
- M het moment in newtonmeter (Nm);
- F de kracht in newton (N);
- r de arm in meter (m).

DE ARM METEN

De arm is de kortste afstand tussen de werklijn van de kracht en het draaipunt van de hefboom. De **werklijn** is de denkbeeldige lijn waarlangs de kracht werkt. In figuur 3 kun je zien hoe je de arm meet: loodrecht op de werklijn van de kracht.

De arm is vaak korter dan de afstand tussen het draaipunt D en het aangrijpingspunt A van de kracht (gemeten langs de hefboom) zoals je kunt zien in figuur 3a. In figuur 3b zijn de arm en de afstand tussen het draaipunt en het aangrijpingspunt van de kracht gelijk.

figuur 3 Zo kun je de arm van de trapkracht bepalen.



VOORBEELDOPDRACHT 1

Ga met een berekening na hoe groot het moment in figuur 3a is. De kracht op de trapper is 500 N. De arm is 9,0 cm.

gegevens F = 500 N
r = 9,0 cm = 0,090 m

gevraagd M = ?

uitwerking $M = F \cdot r$
= 500 × 0,090
= 45 Nm

Het moment in figuur 3a is 45 Nm.

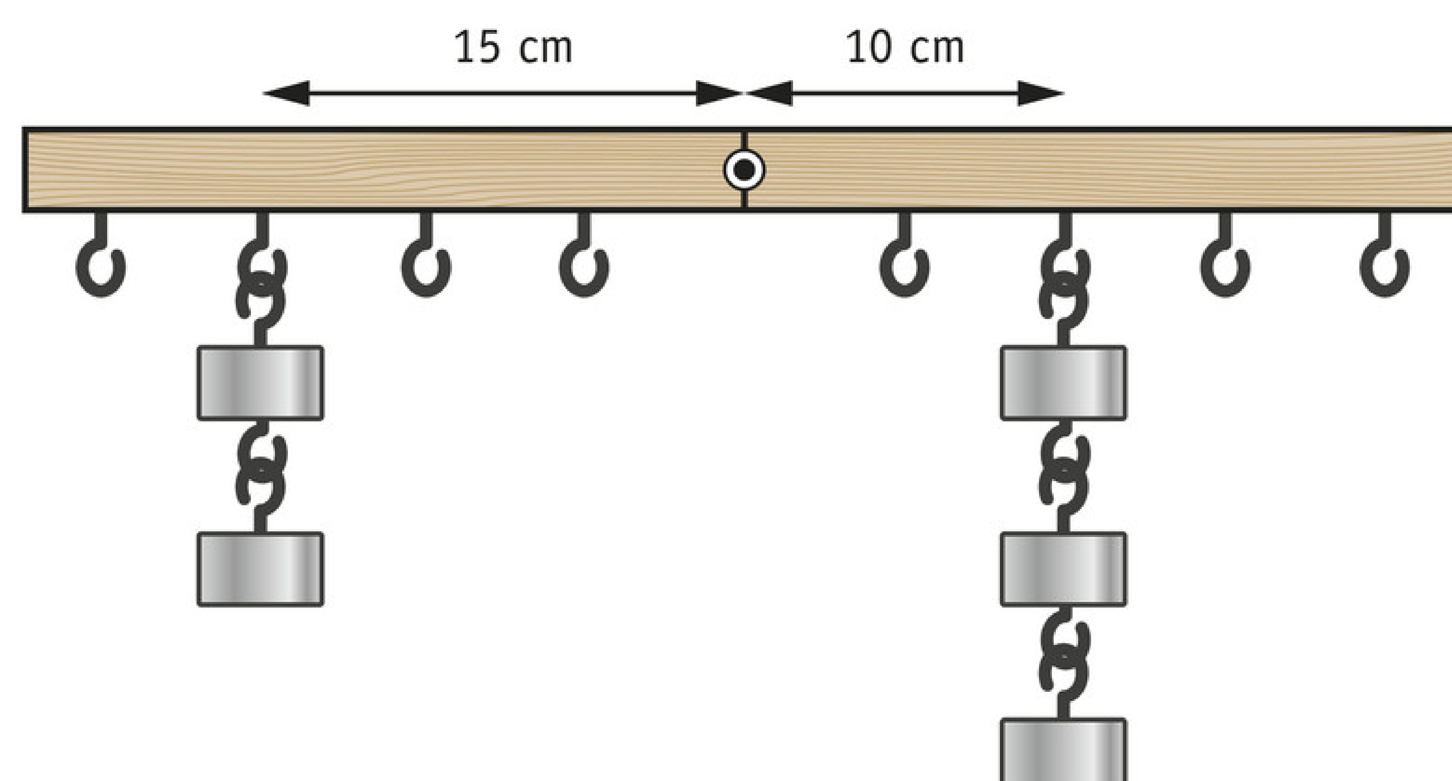
DE MOMENTENWET

Op de hefboom in figuur 4 werkt links en rechts van het draaipunt een kracht. Of de hefboom in evenwicht is, hangt af van de momenten van deze krachten. Er is evenwicht als het moment van kracht F_1 (linksom) even groot is als het moment van kracht F_2 (rechtsom). Algemeen geldt: een hefboom is in evenwicht, als de som van de momenten linksom gelijk is aan de som van de momenten rechtsom. In formulevorm:

$M_1 + M_2 + ...$ (linksom) = $M_1 + M_2 + ...$ (rechtsom)

Hierin is:
- M_1, M_2 het eerste en tweede moment linksom of rechtsom in newtonmeter (Nm).

Deze regel noem je de **momentenwet**.



figuur 4 Is de hefboom in evenwicht?

VOORBEELDOPDRACHT 2

Ga met een berekening na of de hefboom in figuur 4 in evenwicht is. De gewichtjes zijn alle vijf even zwaar: 0,50 N.

gegevens $F_1 = 2 \times 0{,}50 = 1{,}0$ N $\quad F_2 = 3 \times 0{,}50 = 1{,}5$ N
$r_1 = 15$ cm $= 0{,}15$ m $\quad r_2 = 10$ cm $= 0{,}10$ m

gevraagd Is M_1 gelijk aan M_2?

uitwerking $M_1 = F_1 \cdot r_1$ $\quad M_2 = F_2 \cdot r_2$
$= 1{,}0 \times 0{,}15$ $\quad = 1{,}5 \times 0{,}10$
$= 0{,}15$ Nm $\quad = 0{,}15$ Nm

$M_1 = M_2 = 0{,}15$ Nm. De hefboom is dus in evenwicht.

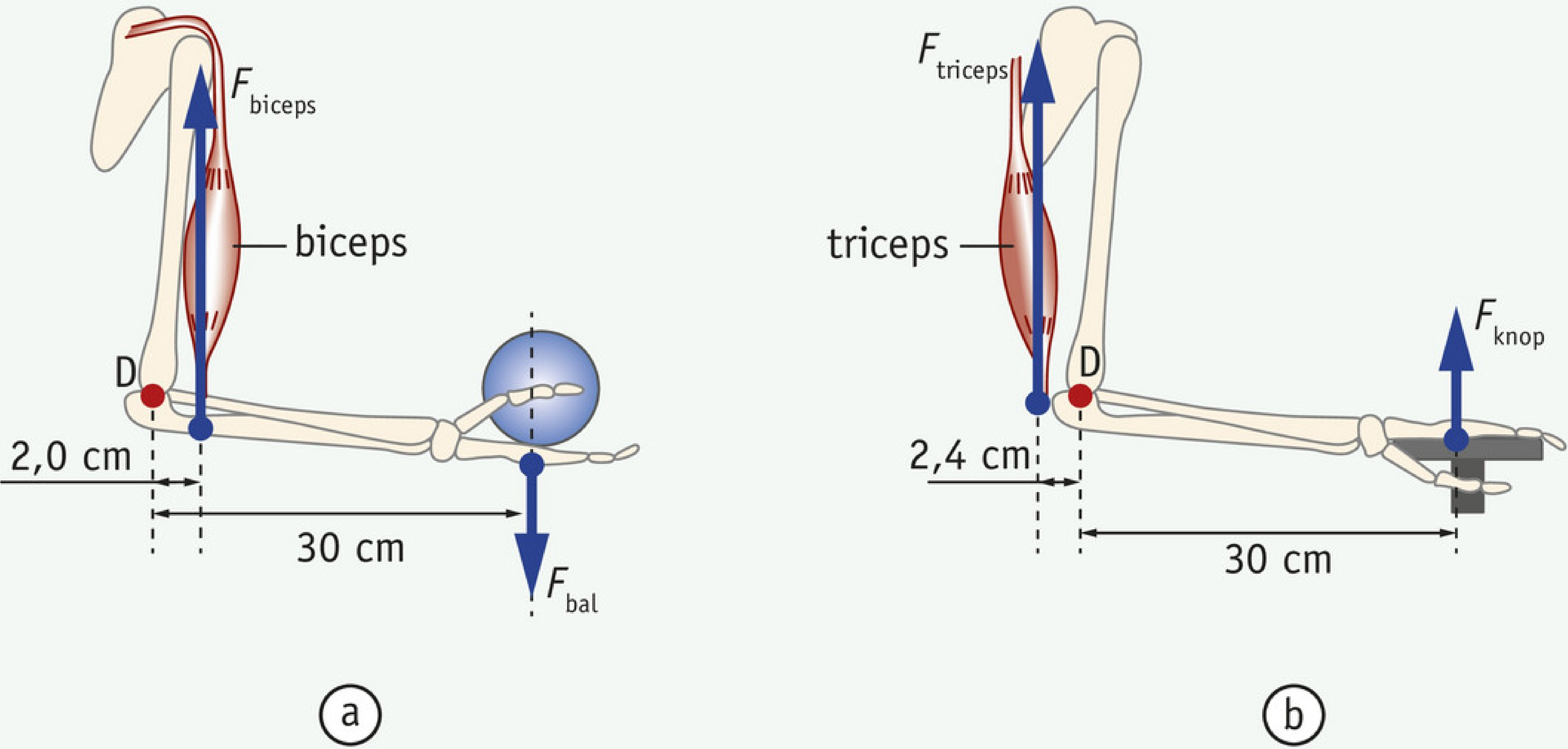
PLUS HEFBOMEN IN JE LICHAAM

Ook in je lichaam zijn er allerlei voorbeelden van de hefboomwerking te vinden. Vaak zie je dat een bot hierbij optreedt als hefboom en de gewrichten als draaipunt. De krachten op deze hefboom worden uitgeoefend door de spierbundels die eraan zijn gehecht.

Spieren kunnen alleen samentrekken of ontspannen. Door samen te trekken kan bijvoorbeeld je biceps een trekkracht op je onderarm uitoefenen (figuur 5a). Zo kun je een bal vasthouden terwijl die door zijn gewicht op je hand duwt. Omdat je biceps alleen kan samentrekken of ontspannen, kan hij geen duwkracht op je onderarm uitoefenen als je bijvoorbeeld op een knop wilt duwen (figuur 5b). Om deze kracht in tegenovergestelde richting te kunnen uitoefenen moeten je spieren daarom samenwerken.

In figuur 5b zie je hoe dat werkt: terwijl je biceps ontspant, zorgt de trekkracht van je triceps ervoor dat je hard op de knop kunt duwen. Het aangrijpingspunt van de spierkracht op de hefboom is op deze manier dus op een slimme manier verplaatst. De kracht van je triceps en de kracht van de knop op je hand zorgen ervoor dat de hefboom (je onderarm) ook hier weer in evenwicht is.

figuur 5 De hefboomwerking in je onderarm.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welk kenmerk heeft elke hefboom?
b Met welke formule kun je het moment van een kracht berekenen?
c Hoe (in welke richting) wordt de arm van een kracht gemeten?
d Hoe kun je bepalen of een hefboom wel of niet in evenwicht is?

2 Vul de tabel in.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
massa			
		newton	
	r		
			Nm

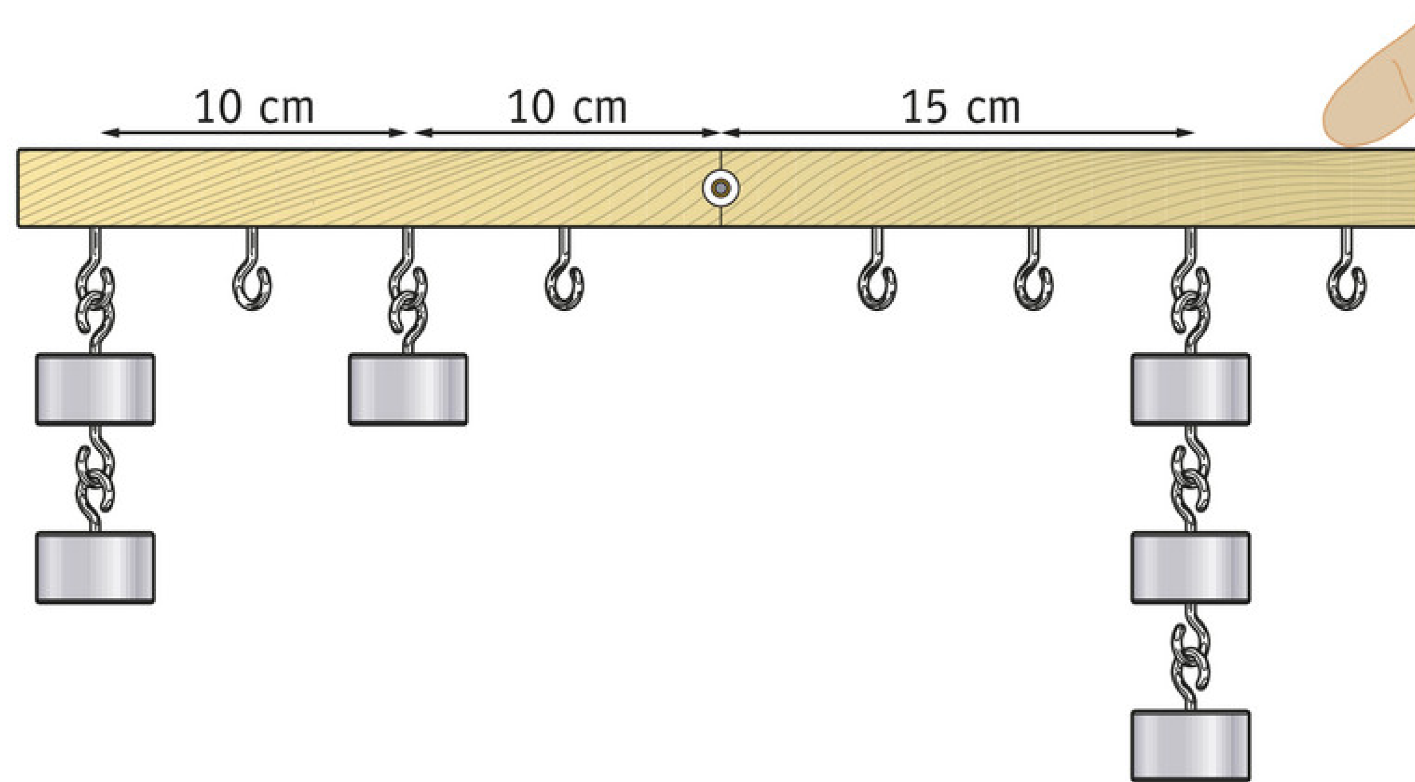
TOEPASSING

3 Aan de hefboom in figuur 6 hangen zes gewichtjes die allemaal even zwaar zijn: 0,30 N. Sanjay houdt de hefboom met zijn vinger vast.

a Bereken het totale moment aan de linkerzijde van de hefboom en noem dit moment M_1.

b Bereken of de hefboom in evenwicht is als Sanjay hem loslaat.

c Wat gebeurt er met de hefboom als Sanjay hem loslaat?



figuur 6 Is deze hefboom in evenwicht?

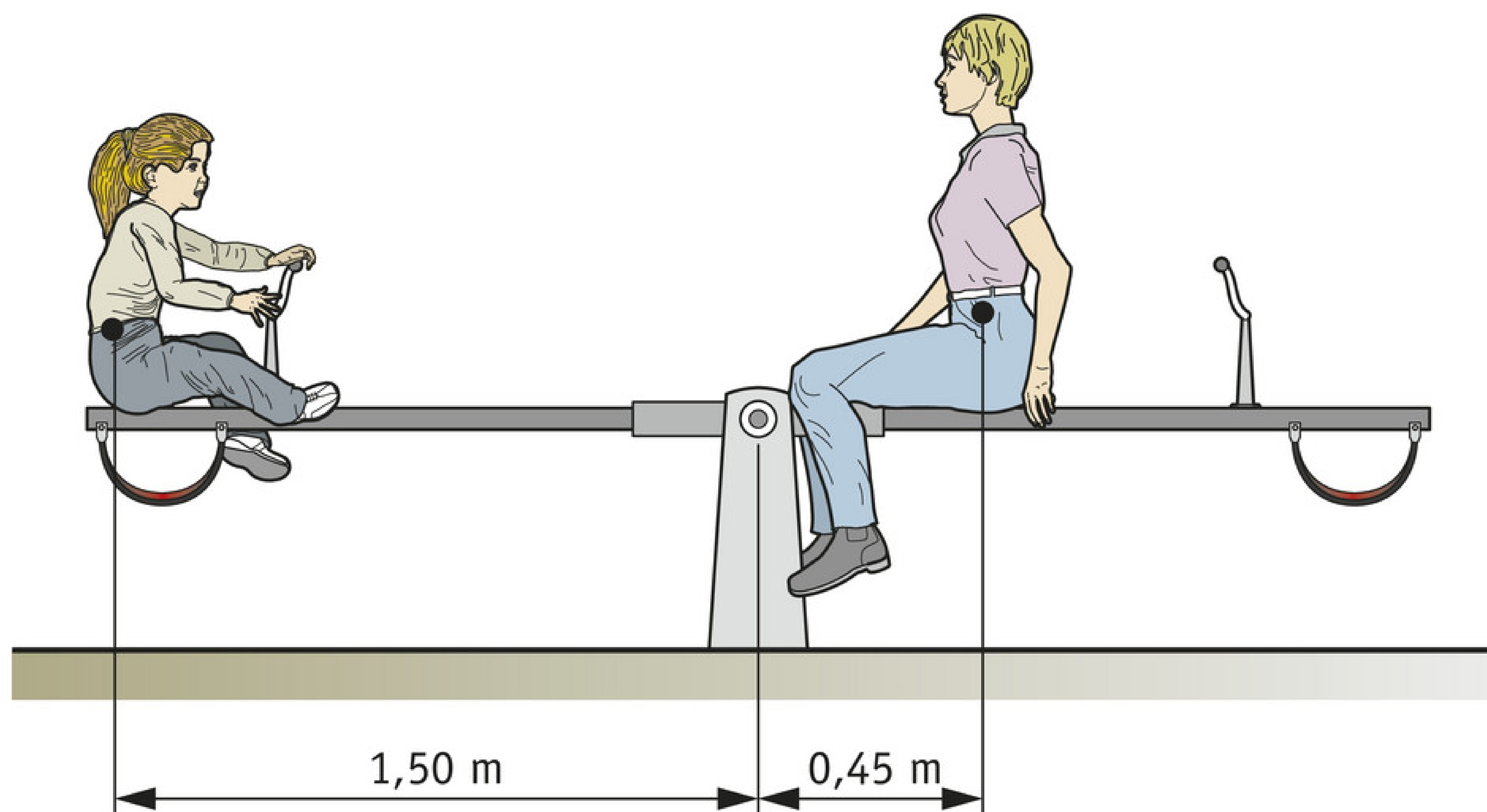
4 Lisette (18 kg) en haar moeder Anneke zitten op een wip (figuur 7). In de situatie op de tekening is de wip in evenwicht.

a Bereken de zwaartekracht op Lisette.

b Bereken het moment aan de kant van Lisette.

c Hoe groot is het moment aan de kant van Anneke?

d Bereken de massa van Anneke.



figuur 7 Een wip in evenwicht.

5 Joachim wil een rolluik omhoogdoen. Hij draait hiervoor aan de zwengel in figuur 8. De zwengel is in drie verschillende situaties getekend. De kracht is in alle drie de situaties gelijk.

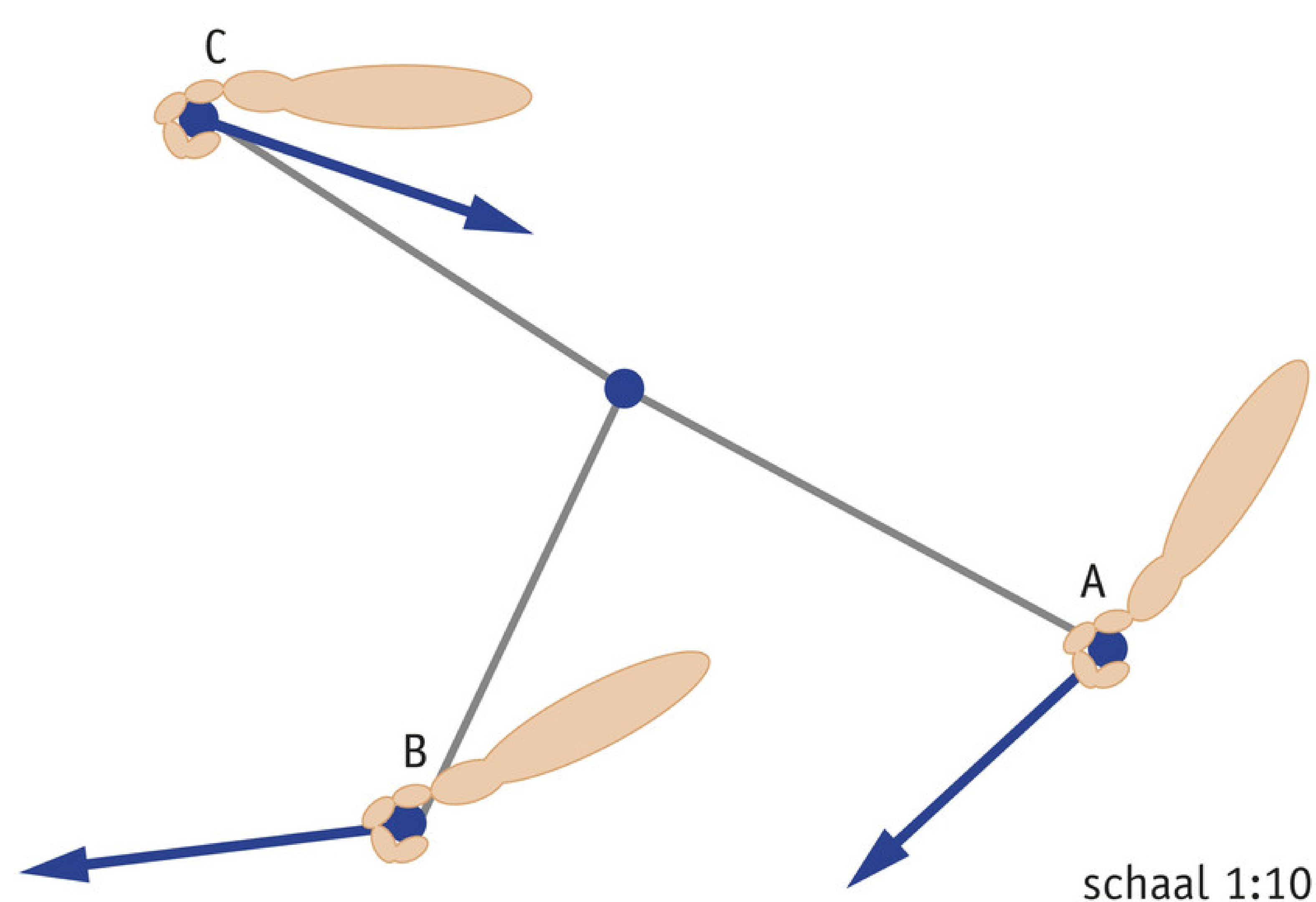
a Bepaal in elke situatie de arm van de kracht op de zwengel.

r_A = ... cm

r_B = ... cm

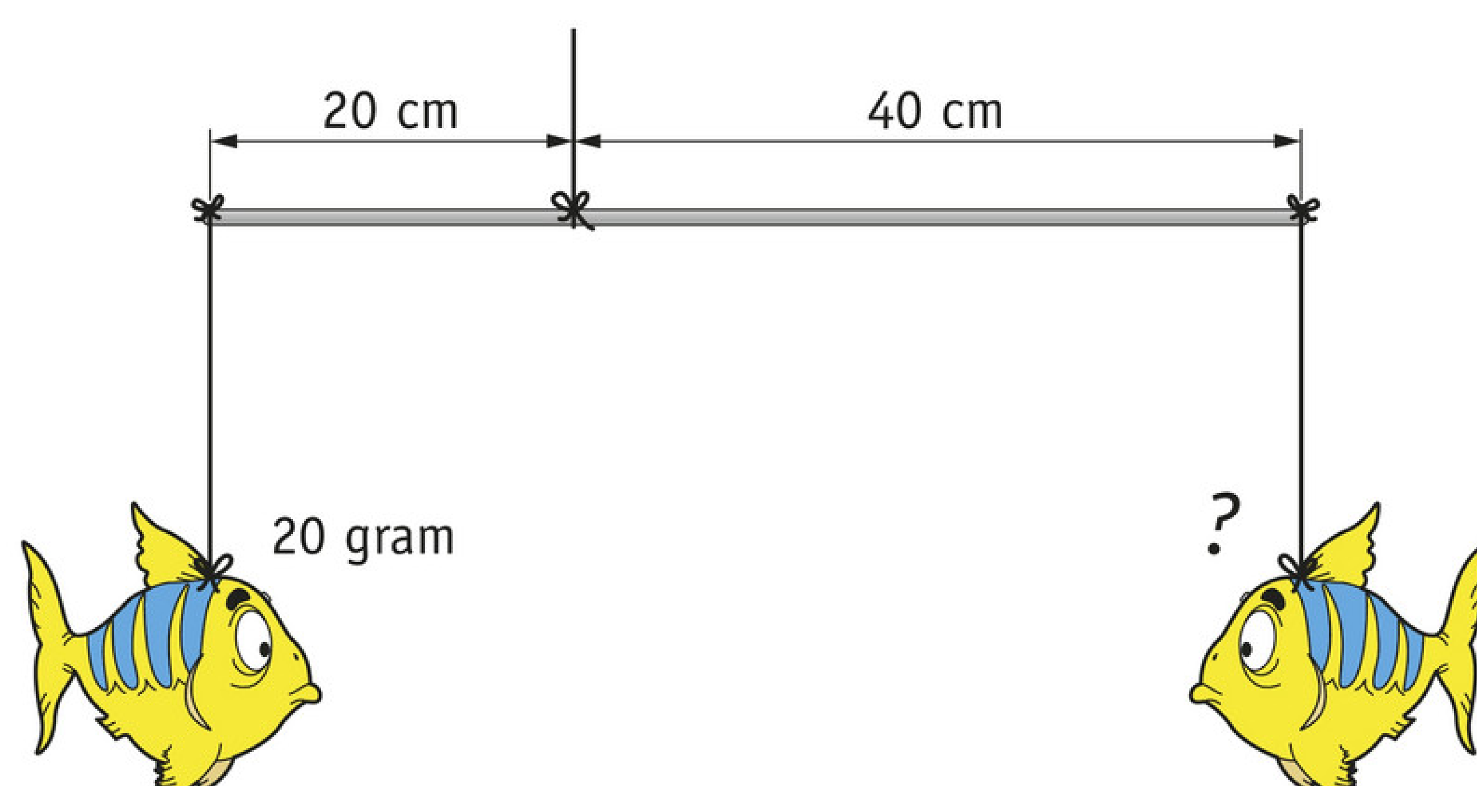
r_C = ... cm

b Leg uit in welke situatie het moment van de kracht op de zwengel het grootst is.



figuur 8 Draaien aan een zwengel.

6 In figuur 9 is een mobile getekend: een constructie met lichte latjes en figuurtjes die elkaar in evenwicht houden. Om de visjes de juiste massa te geven, zijn ze aan de achterkant verzwaard.
Bereken de massa van het rechter visje. Je mag de massa van het stokje verwaarlozen.

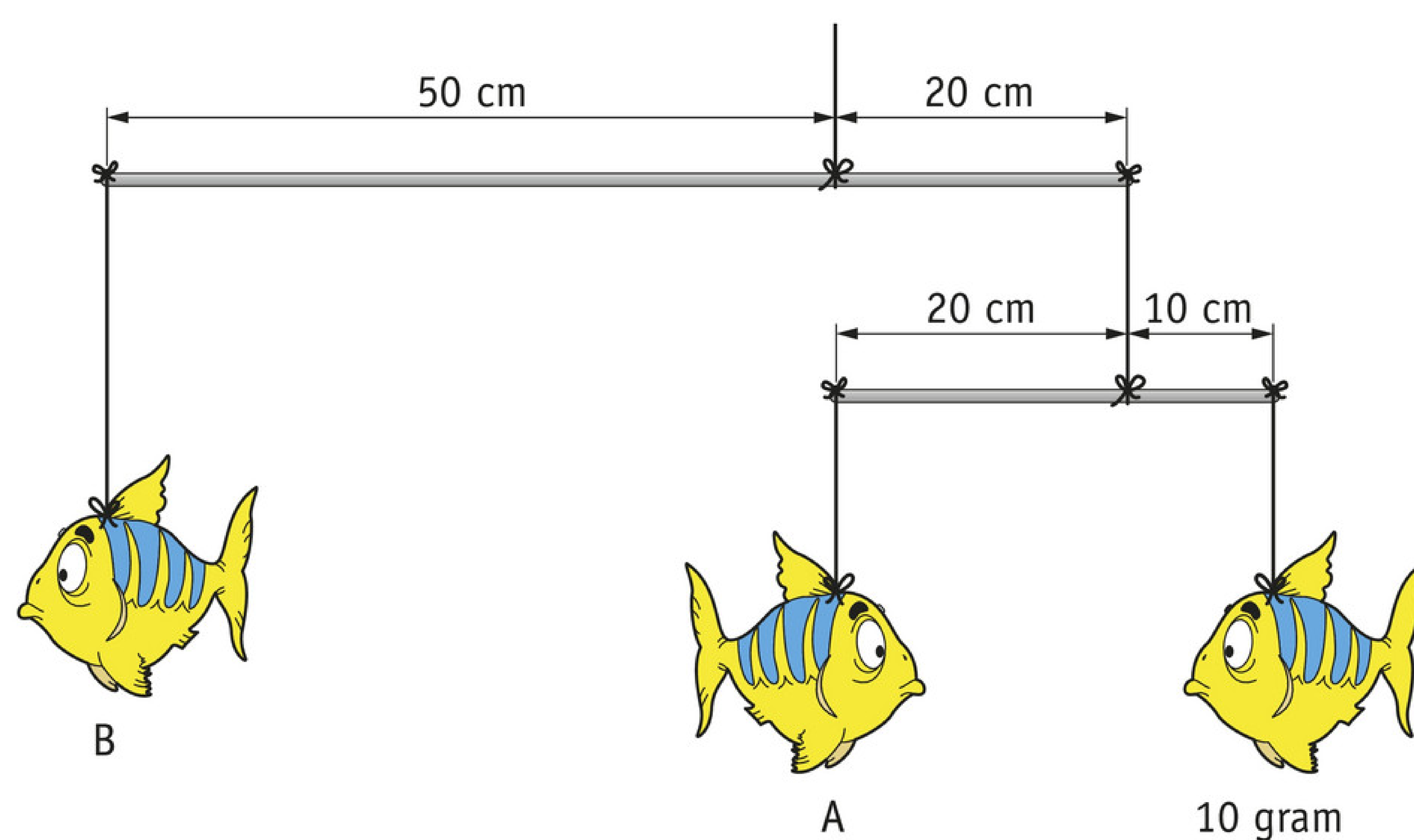


figuur 9 Een mobile met twee visjes.

★ 7 In figuur 10 zie je een andere mobile. Je mag de massa van de stokjes weer verwaarlozen.

a Bereken de massa van visje A.

b Bereken de massa van visje B.



figuur 10 Een mobile met drie visjes.

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS HEFBOMEN IN JE LICHAAM

8 In figuur 11a zie je nogmaals hoe je biceps een kracht F_{biceps} op je onderarm uitoefent. In een vereenvoudigd model mag je ervan uitgaan dat in deze situatie je triceps geen kracht uitoefent en volledig ontspannen is.

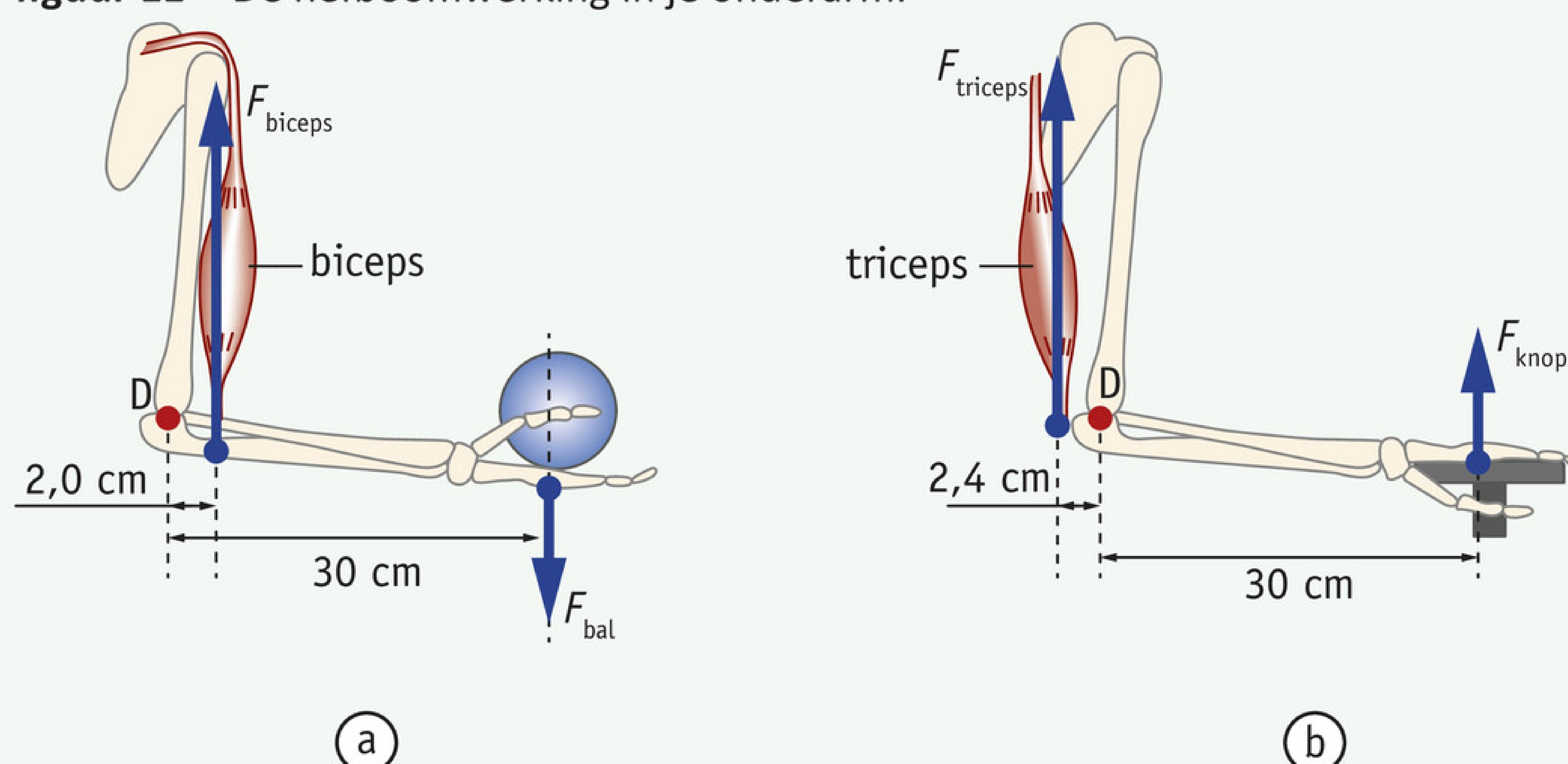
a Bereken met de gegevens in de figuur de kracht F_{biceps} die de biceps op de onderarm uitoefent. De massa van de bal is 14,7 kg. De massa van de onderarm mag je in de berekening verwaarlozen.

b Als je de massa van je onderarm niet mag verwaarlozen, wordt dan de kracht die je in opdracht a hebt berekend groter of juist kleiner? Leg uit.

c Vergelijk de kracht van de biceps die je bij opdracht a hebt berekend met de kracht die de bal op je arm uitoefent.
Welk nadeel heeft deze hefboom vergeleken met veel hefbomen die je als werktuig gebruikt?

d Bedenk ook een voordeel dat deze hefboomwerking heeft.

figuur 11 De hefboomwerking in je onderarm.



9 Bekijk figuur 11b en gebruik de gegevens in de figuur.

a Toon aan dat de kracht van je triceps ($F_{triceps}$) 12,5× zo groot is als de kracht op je hand (F_{knop}).

b De biceps en triceps in je onderarm worden ‘antagonisten’ (Grieks voor ‘tegenstander’) genoemd: spieren met een tegengestelde werking.
Leg uit in welk opzicht deze spieren een tegengestelde werking hebben.

c Als in de situatie van figuur 11b de kracht op je hand 20 N is, oefent je triceps een kracht van 250 N uit, want 12,5 × 20 = 250. Behalve deze twee krachten werkt er nog een derde kracht op de hefboom, in het draaipunt D: F_D.
Leg uit dat de resultante F_{res} van de drie genoemde krachten op je onderarm gelijk moet zijn aan nul (newton).

d Bereken, met het gegeven dat er geen resultante is, de kracht in het draaipunt D en leg uit welke richting deze kracht heeft.

4 Werktuigen

LEERDOELEN

2.4.1 Je kunt verschillende soorten hefbomen onderscheiden.
2.4.2 Je kunt hefbomen in werktuigen herkennen.
2.4.3 Je kunt bij werktuigen rekenen met de momentenwet.
PLUS 2.4.4 Je kunt de momentenwet toepassen bij de momentsleutel.

Iets wat je met je blote handen niet lukt, krijg je met een hefboom vaak moeiteloos voor elkaar. Dat is de reden waarom je in het dagelijks leven allerlei werktuigen gebruikt, zoals deurkrukken, flessenopeners, nijptangen en notenkrakers. In al deze werktuigen tref je een of meerdere hefbomen aan.

WERKEN MET HEFBOMEN

Je gebruikt elke dag je spierkracht om dingen los te draaien, open te maken en op te tillen. Vaak heb je daar geen hulpmiddelen voor nodig. Maar het gebeurt ook regelmatig dat je spierkracht niet groot genoeg is. In zo'n geval gebruik je een werktuig. Dat helpt je om meer kracht uit te oefenen.

Een steeksleutel is een goed voorbeeld van een werktuig. Met zo'n sleutel kun je een moer losdraaien die stevig vastzit – veel te vast om met je vingers los te draaien. Je gebruikt daarbij de sleutel als hefboom. Zoals elke hefboom heeft een steeksleutel een draaipunt. In figuur 1 is dat draaipunt het middelpunt van de moer.



figuur 1 Met een steeksleutel krijg je de moer gemakkelijk los.

In deze situatie heb je te maken met twee krachten. Je spierkracht werkt op het uiteinde van de steeksleutel, ver van het draaipunt. Hierdoor oefent de sleutel een kracht uit op de moer, dicht bij het draaipunt. De kracht op de moer is groter dan jouw spierkracht. Dat merk je: je kunt de moer met de sleutel gemakkelijk losdraaien.

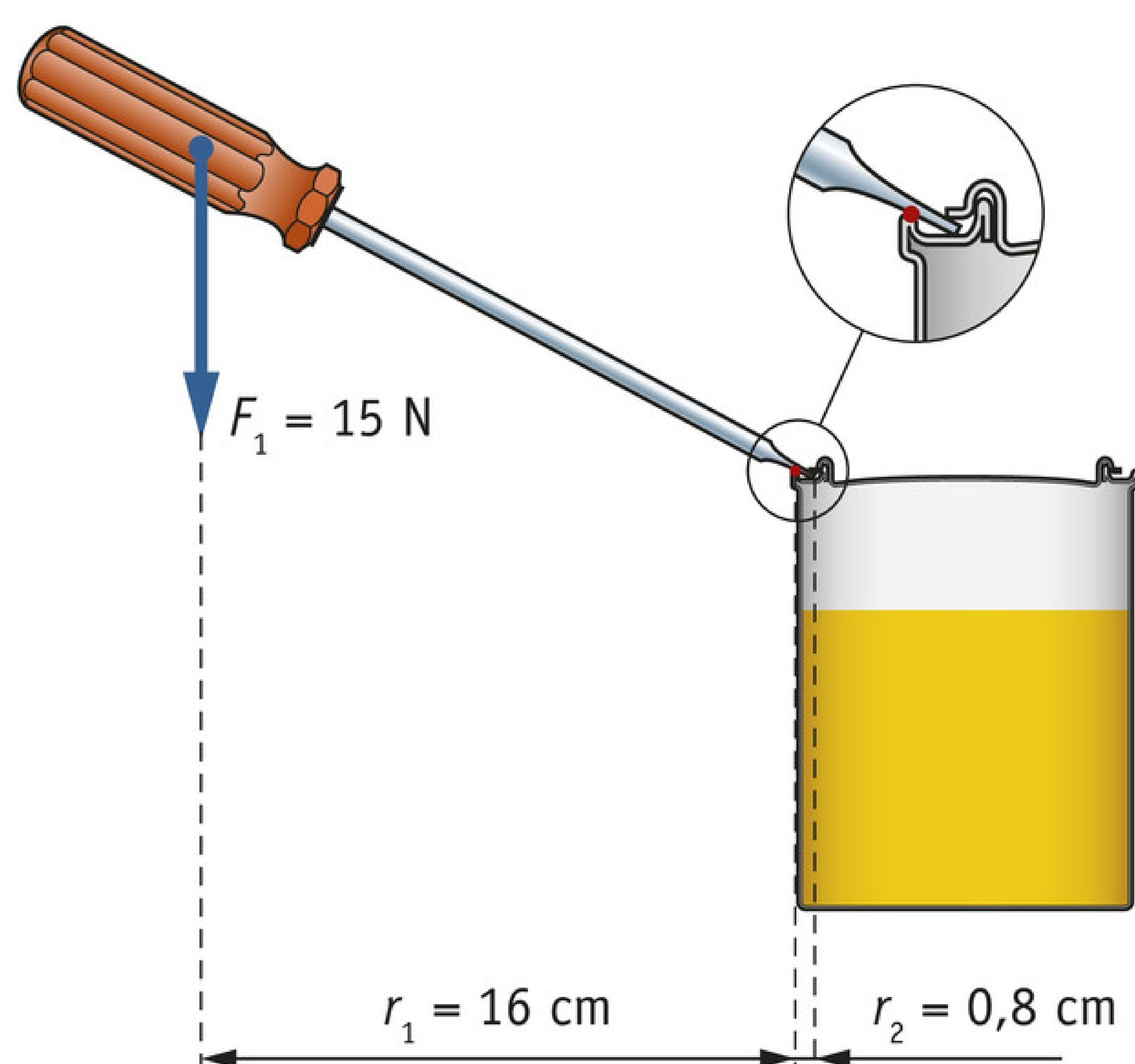
ENKELE HEFBOMEN

Je kunt de momentenwet toepassen op werktuigen, zoals de schroevendraaier in figuur 2. Je hand probeert de schroevendraaier linksom te laten draaien, met een kracht F_1. Het deksel verzet zich tegen die beweging, met een kracht F_2. Vlak voordat het deksel in beweging komt zijn de twee krachten F_1 en F_2 het grootst. Op dat moment is er evenwicht en zijn de beide momenten even groot. Dat betekent dat:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

Hierin zijn:

- F_1, F_2 de krachten van de momenten in newton (N);
- r_1, r_2 de armen van de momenten in meter (m).



figuur 2 Een verfblik met een hefboom openmaken.

Omdat r_1 van de schroevendraaier (16 cm) 20× zo groot is als r_2 van het deksel (0,8 cm) volgt uit de formule dat F_2 20× zo groot is als F_1. Op het deksel werkt daardoor een kracht van 300 N: 20× zo groot als jouw spierkracht van 15 N.
Op deze manier werken veel werktuigen: een kleine kracht met een grote arm maakt evenwicht met een grote kracht met een kleine arm.

DUBBELE HEFBOMEN

Veel werktuigen vormen als je ze gebruikt in hun geheel één hefboom. Denk bijvoorbeeld aan flessenopeners, steeksleutels en bandenlichters. Dit noem je **enkele hefbomen**. Maar er zijn ook werktuigen die uit twee, met elkaar verbonden hefbomen bestaan. Voorbeelden van zulke **dubbele hefbomen** zijn snoeischaren, notenkrakers en nijptangen. Je kunt net zoals bij enkele hefbomen berekenen hoeveel ze je spierkracht vergroten.

VOORBEELDOPDRACHT 1

De nijptang in figuur 3 wordt dichtgeknepen met een spierkracht van (tweemaal) 10 N.
Bereken de krachten op de spijker.

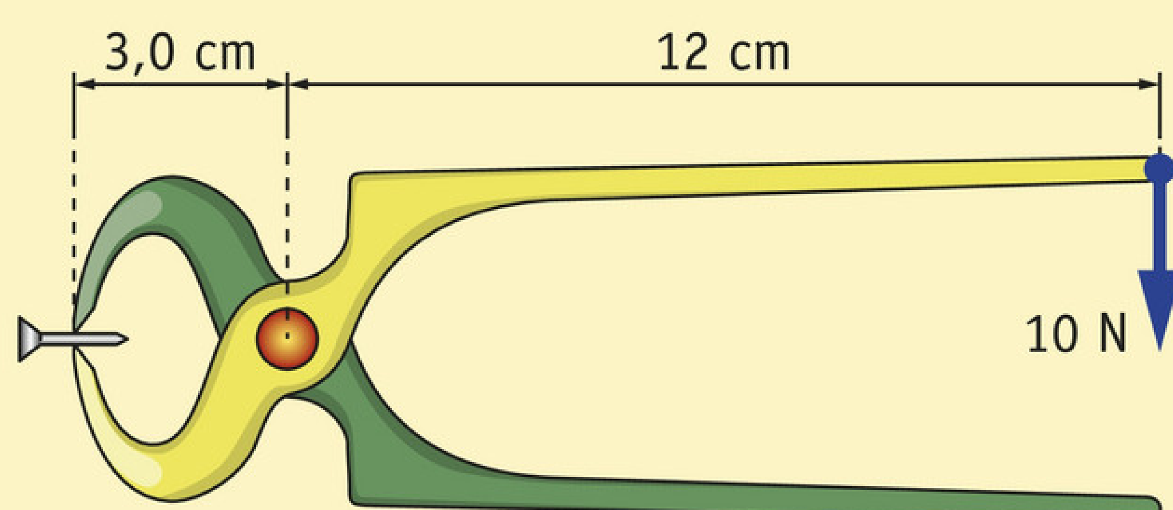
gegevens $F_1 = 10$ N $\quad F_2 = \ldots$ N
$r_1 = 12$ cm $= 0{,}12$ m $\quad r_2 = 3{,}0$ cm $= 0{,}030$ m

gevraagd $F_2 = ?$

uitwerking Ga uit van evenwicht, dus:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$
$$10 \times 0{,}12 = F_2 \times 0{,}030$$
$$F_2 = \frac{1{,}20}{0{,}030} = 40 \text{ N}$$

Op de spijker werkt dus een kracht van tweemaal 40 N.

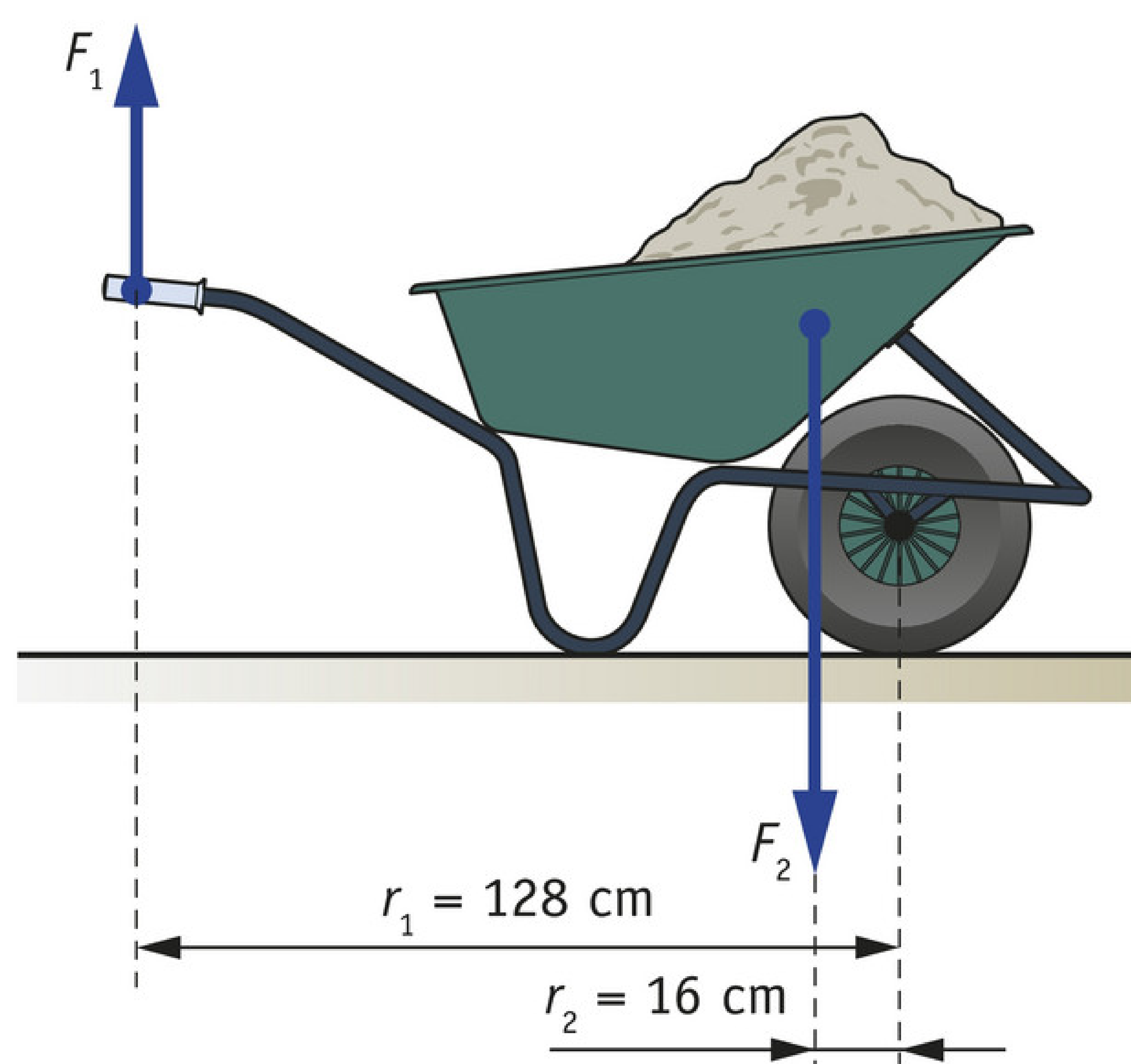


figuur 3 Een nijptang bestaat uit twee hefbomen, hier geel en groen afgebeeld.

HEFBOMEN MET HET DRAAIPUNT AAN EEN UITEINDE

Bij veel hefbomen ligt het draaipunt tussen de twee uiteinden waarop krachten F_1 en F_2 werken. Maar er zijn ook hefbomen waarbij het draaipunt aan een van de uiteinden zit. Dat zie je bij de kruiwagen in figuur 4. Het draaipunt (de as van het wiel) ligt rechts van de krachten F_1 en F_2.

Ook op dit soort hefbomen kun je de hefboomregel toepassen. Ook hierbij ga je uit van evenwicht. In het geval van de kruiwagen maakt de zwaartekracht op de kruiwagen (linksom) evenwicht met de spierkracht op de handvatten (rechtsom). Let er wel op dat je de armen juist meet, zoals in figuur 4 staat aangegeven.



figuur 4 De krachten op een kruiwagen.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Esther heeft 100 kg zand in een kruiwagen geschept. Nu wil ze de kruiwagen optillen. Bereken de spierkracht die Esther moet uitoefenen net voordat de kruiwagen van de grond komt.

gegevens F_1 = ... N $F_2 = m \cdot g = 100 \times 9{,}8 = 980$ N
r_1 = 128 cm r_2 = 16 cm

gevraagd F_1 = ?

uitwerking Je gaat uit van evenwicht, dus:

$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$

$F_1 \cdot 128 = 980 \times 16$

$F_1 = \frac{15\,680}{128} = 123$ N

Esther moet dus een kracht van 123 N uitoefenen (in werkelijkheid iets meer, omdat er geen rekening is gehouden met de zwaartekracht op de kruiwagen zelf).

PLUS DE MOMENTSLEUTEL

Bouten en moeren kun je aandraaien met een steeksleutel (zoals in figuur 1), maar soms mogen ze niet te strak worden aangedraaid. Dat is bijvoorbeeld het geval bij het vastzetten van lichtmetalen velgen op een auto. Deze velgen vervormen als je de bouten te stevig aandraait. Bovendien kan dan ook de schroefdraad beschadigd raken. Maar bij een autowiel is het natuurlijk niet veilig als je de bouten niet stevig genoeg aandraait. Fabrikanten van velgen schrijven daarom voor met welk moment bouten moeten worden aangedraaid. Dat geldt ook voor een groot aantal andere auto-onderdelen.

Met een normale sleutel weet je niet hoe groot het moment is dat je uitoefent. Op momentsleutels kun je voortdurend aflezen hoe groot het moment is. Bij moderne momentsleutels kun je dit bijvoorbeeld op een display aflezen (figuur 5). Bovendien hebben veel momentsleutels een ingebouwde beveiliging: je kunt het maximale moment dat mag worden uitgeoefend instellen, bijvoorbeeld 50 Nm. Als deze waarde bij het aandraaien van de bout wordt overschreden, gaat er iets in het mechanisme slippen, of wordt er bijvoorbeeld een waarschuwing met een geluidssignaal gegeven.



figuur 5 Een momentsleutel met een digitaal display.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Met welke formule kun je de kracht berekenen die je op gereedschap moet uitoefenen zolang het gereedschap nog in evenwicht is?

b Hoe (in welke richting) wordt de arm van een kracht gemeten?

c Waarom worden hefbomen in het dagelijks leven veel gebruikt?

2 Allerlei werktuigen maken gebruik van de hefboomwerking.

a Noteer drie werktuigen die uit één hefboom bestaan.

b Noteer drie werktuigen die uit twee hefbomen bestaan.

c Noteer drie werktuigen waarbij het draaipunt aan het einde van de hefboom zit.

TOEPASSING

3 In figuur 6 zie je de ringsleutel waarmee Samet een moer losdraait. Samet oefent op punt A een spierkracht van 200 N uit. De moer laat los als er aan de buitenzijde van de moer (punt B) een kracht van 3000 N wordt uitgeoefend.

a Geef met een stip het draaipunt van de ringsleutel aan.

b Bepaal het moment van de spierkracht die Samet uitoefent op punt A. Let op de schaal in de tekening.

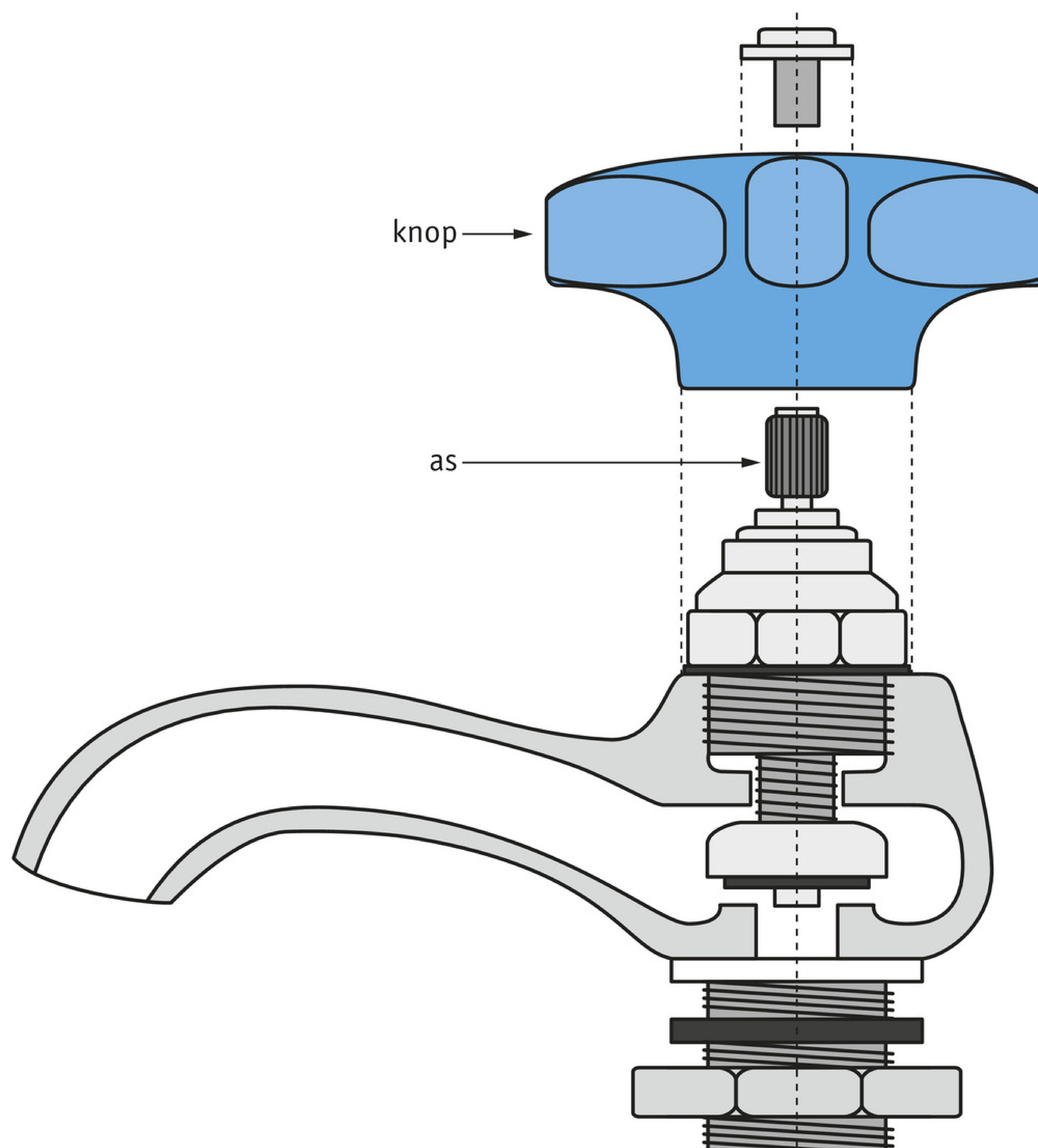
c Bereken of Samet met deze spierkracht de moer los krijgt.

d Bedenk twee mogelijkheden hoe Samet de moer toch los zou kunnen krijgen.



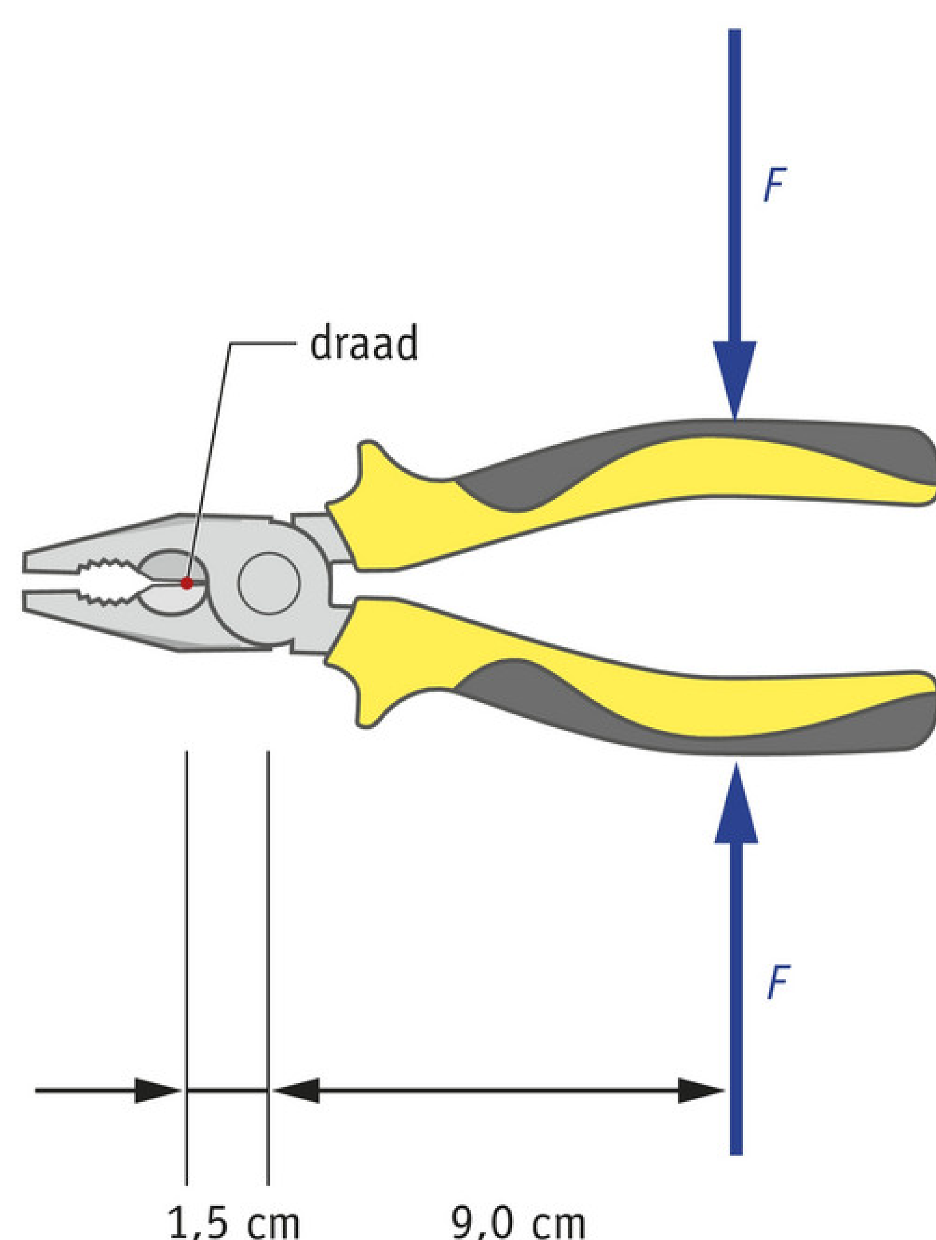
figuur 6 Met een ringsleutel kun je de kracht vergroten.

4 In figuur 7 zie je een doorsnede van een waterkraan. Om de kraan te openen moet je de as ronddraaien. Op de as zit een knop om het ronddraaien van de as te vergemakkelijken. Om de as rond te draaien is een kracht van 90 N nodig.
Bereken hoe groot de kracht is, die je op de knop moet uitoefenen om de kraan open te draaien.



figuur 7 Ook in een waterkraan zit een hefboom.

5 Wilfred knipt met een combinatietang een ijzerdraad door (figuur 8). De tang oefent daarbij twee krachten van 95 N op de draad uit.
Bereken met welke spierkracht *F* Wilfred de handvatten heeft dichtgeknepen.

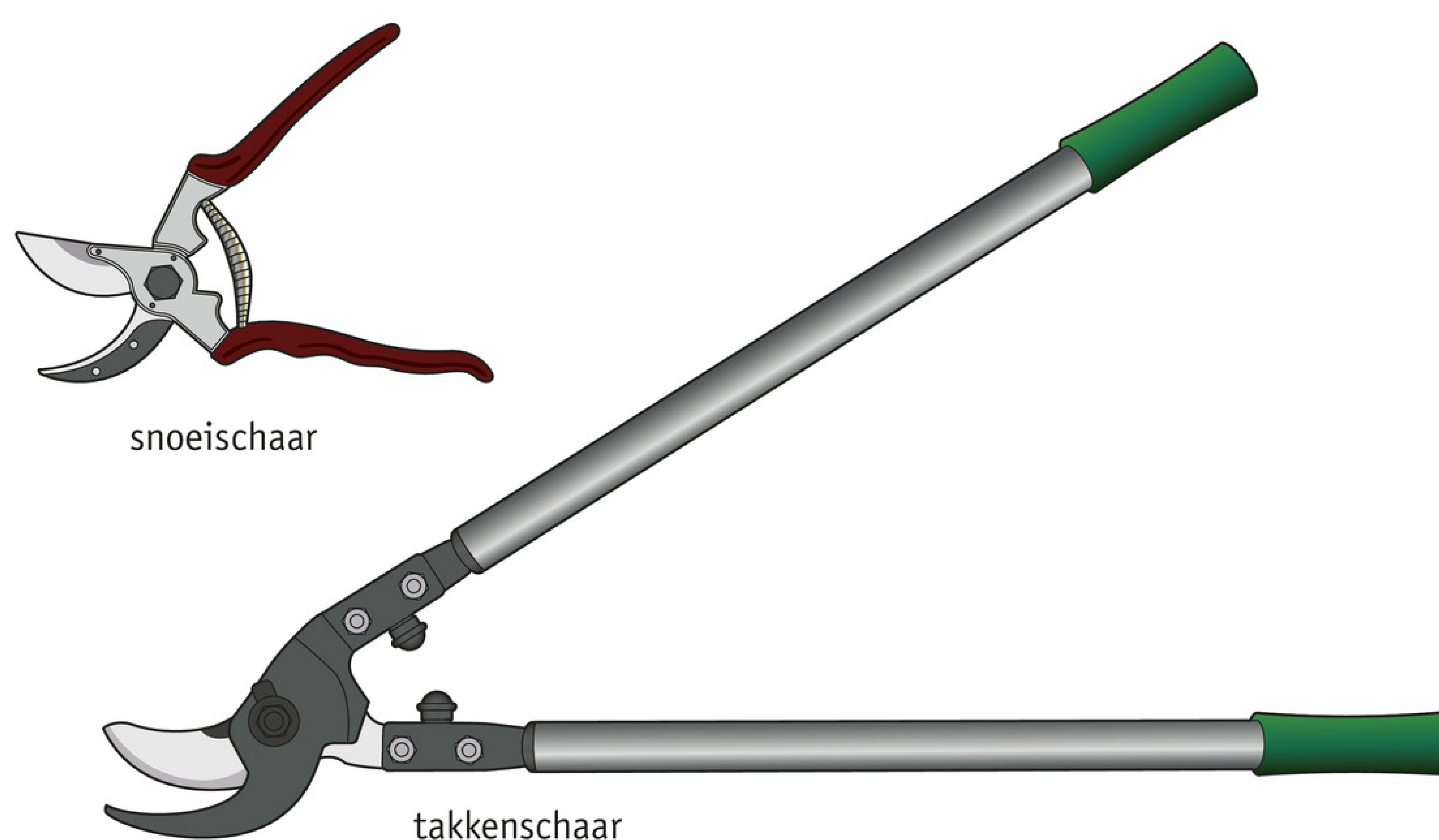


figuur 8 Een draad met een combinatietang doorknippen.

6 Met een takkenschaar kan Wendy dikke takken gemakkelijker doorknippen dan met een snoeischaar (figuur 9).

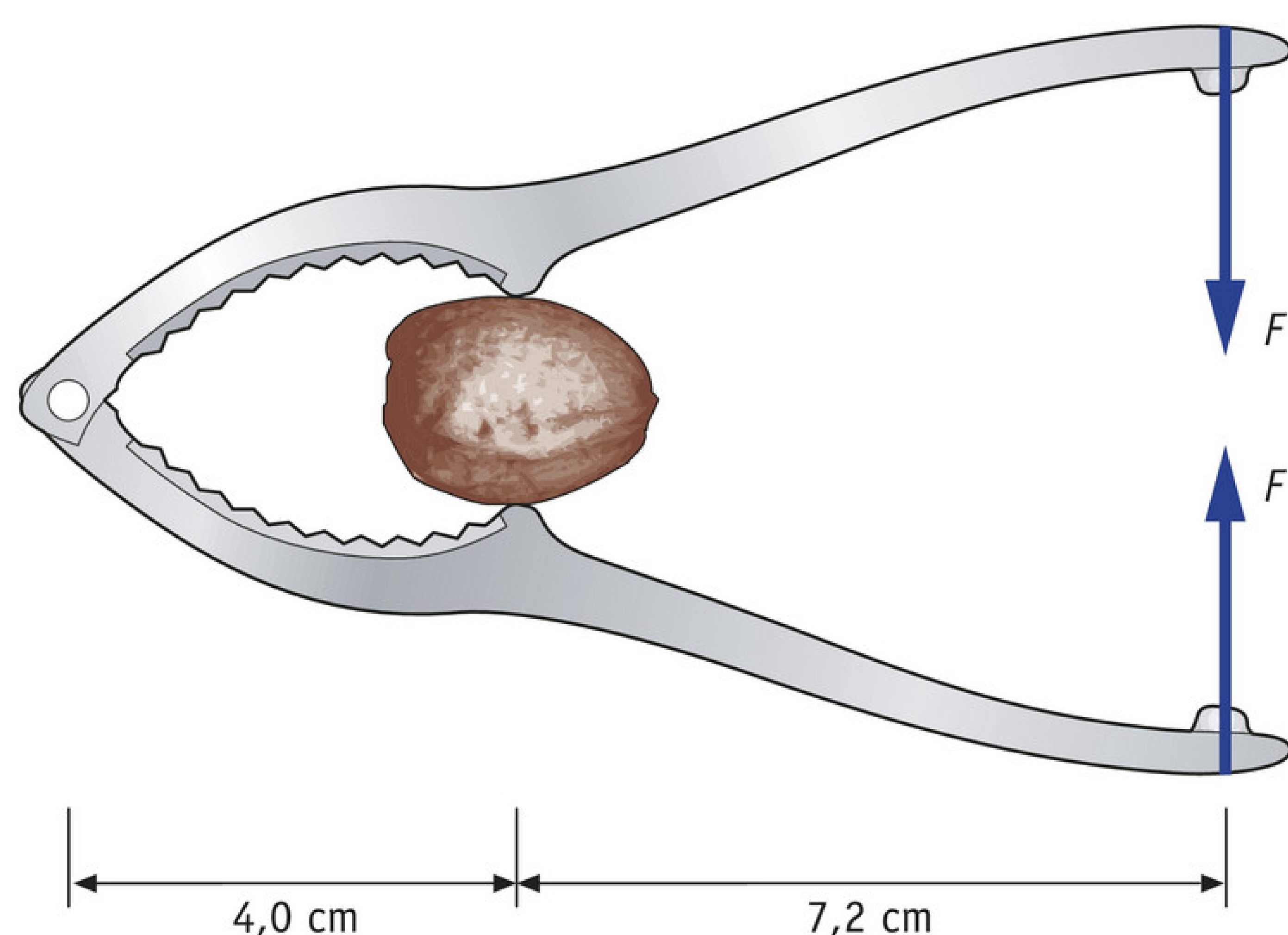
a Leg uit hoe dat komt.

b Bij de snoeischaar is de kracht op een tak ongeveer 4× zo groot als de spierkracht op de handvatten.
Beredeneer hoeveel keer de takkenschaar je spierkracht vergroot. Gebruik voor je redenatie de afmetingen in figuur 9.



figuur 9 Ook bij tuingereedschap vind je veel hefbomen.

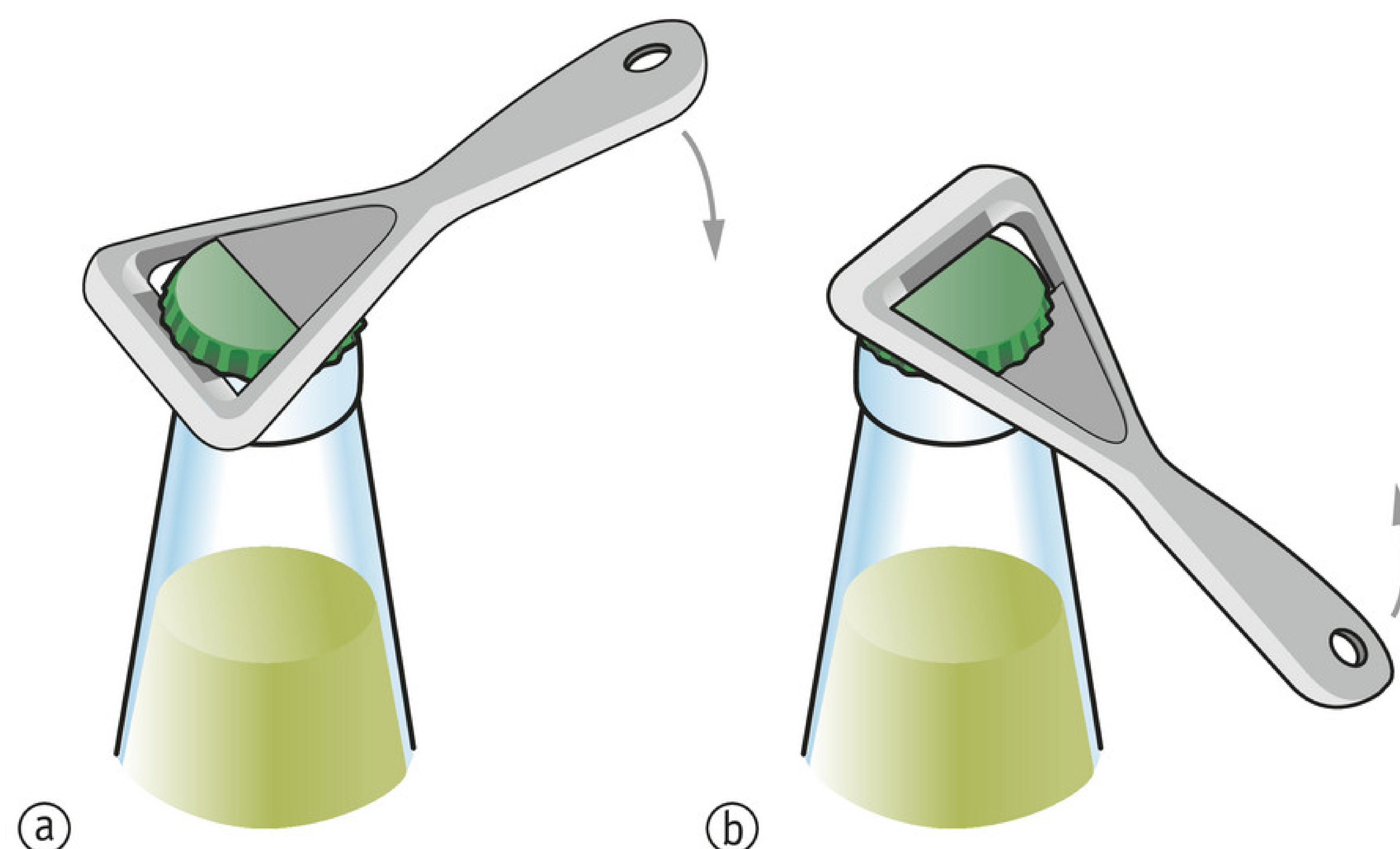
7 Henk-Jan kraakt met een notenkraker een walnoot (figuur 10). Hij oefent een kracht van 15 N op de beide handvatten uit.
Bereken hoe groot de kracht op de walnoot wordt.



figuur 10 Een noot kraken.

8 Je kunt een flessenopener op twee manieren gebruiken om een fles te openen (figuur 11).
Beredeneer bij welke manier je de minste spierkracht nodig hebt. Tip: maak een schets in figuur 11 waarin je de draaipunten en de armen van de krachten aangeeft. Licht je schets toe.

figuur 11 Op welke manier kun je het flesje het gemakkelijkst openmaken?



★ 9 In figuur 12 zie je de stemknoppen van een elektrische gitaar en van een basgitaar.

a Laat bij de stemknop onder figuur 12 met een schets zien dat zo'n stemknop werkt als een hefboom. Licht je schets toe.

b Geef in je schets aan hoe groot de arm van de spierkracht is.

c Leg uit waarom de basgitaar extra grote stemknoppen heeft.

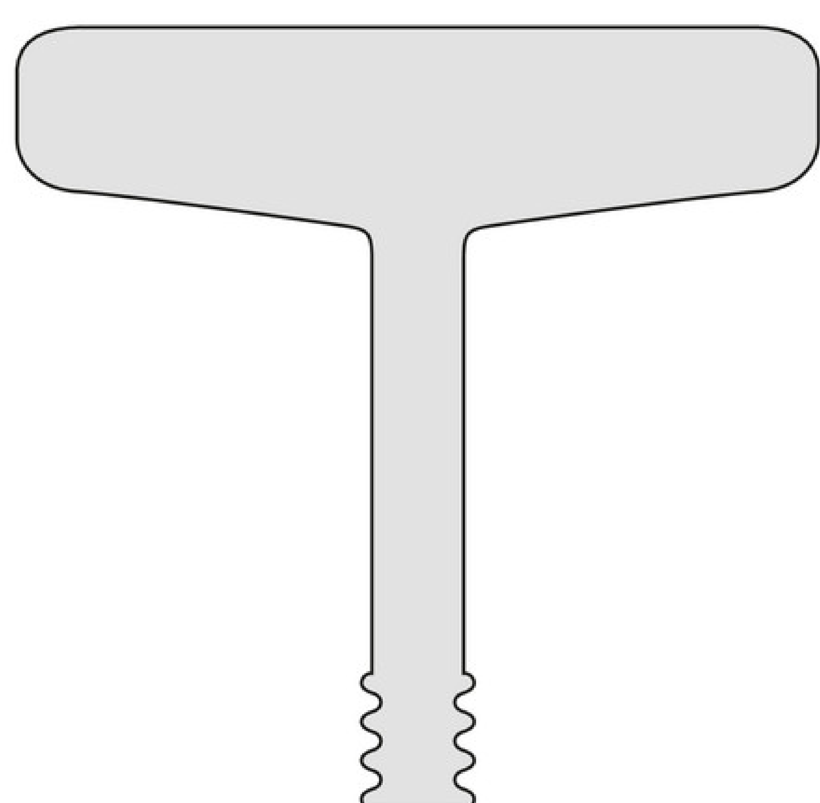
figuur 12 De stemknoppen van een elektrische gitaar (a) en een basgitaar (b).



ⓐ



ⓑ



★ 10 Je probeert met een klauwhamer een spijker uit een plank te trekken.

a Geef in figuur 13 met een stip aan waar het draaipunt van de klauwhamer zich bevindt.

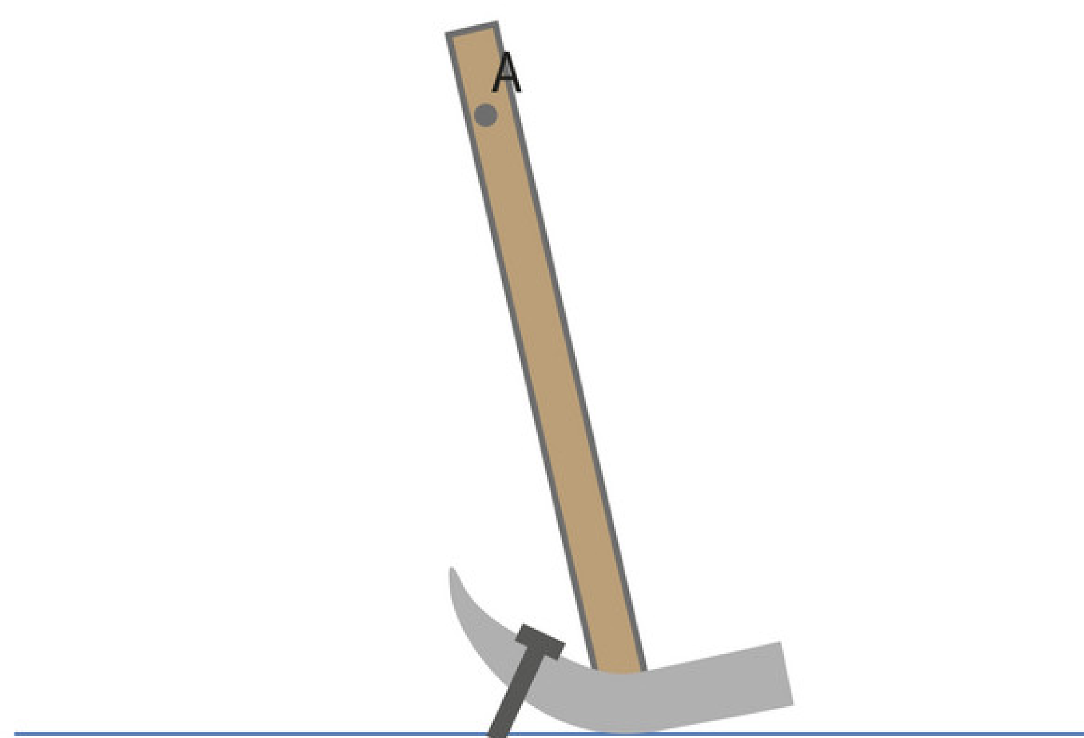
b Schets in de figuur de spierkracht die op de klauwhamer werkt. Het aangrijpingspunt A is al getekend.

c Schets in de figuur de trekkracht van de hamer op de spijker.

d Meet de afstanden r_{spier} en r_{trek}.

- de arm van de spierkracht is .... cm;
- de arm van de trekkracht is .... cm.

e Om de spijker uit het hout te trekken is een kracht van 750 N nodig. Bereken hoeveel kracht je daarvoor op de klauwhamer moet uitoefenen.



figuur 13 Met een klauwhamer gaat het wel zo gemakkelijk.

 **Test je kennis met de *Test jezelf*.**

PLUS DE MOMENTSLEUTEL

11 Piet moet een moer vastzetten en heeft zijn momentsleutel ingesteld op 80 Nm. Hij houdt de momentsleutel vast bij het uiteinde, op 50 cm afstand van het midden van de moer.

a Bereken de maximale kracht die Piet (loodrecht) kan uitoefenen op het uiteinde van de sleutel voordat deze gaat slippen.

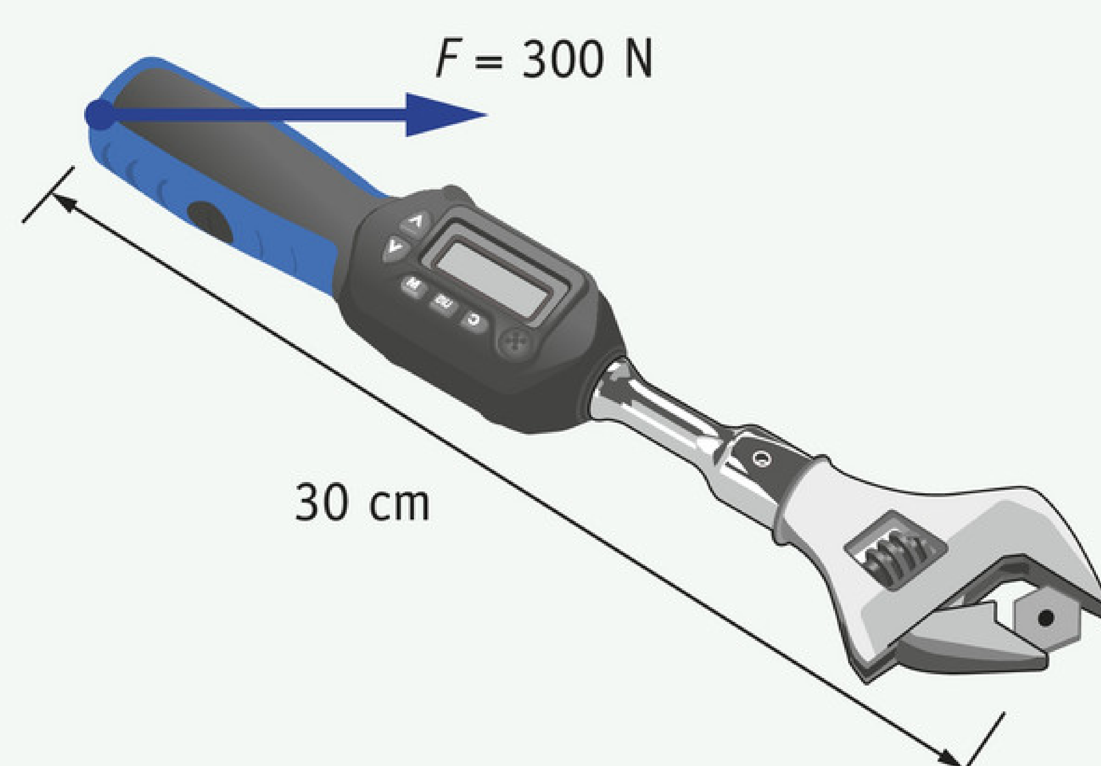
b Piet houdt nu zijn hand dichter bij de moer.
Hoe verandert de kracht waarmee hij (loodrecht) moet trekken om het maximale moment op de moer uit te oefenen?

★ 12 Darifa trekt met 300 N aan een momentsleutel. In figuur 14 zie je een tekening op schaal.

a Teken in figuur 14 de werklijn van de spierkracht *F* en de arm *r* van deze kracht.

b Darifa heeft de momentsleutel ingesteld op 35 Nm. Ga na of de momentsleutel gaat slippen in de situatie van figuur 14. Hint: bepaal eerst met behulp van figuur 14 hoe groot de arm van de spierkracht in werkelijkheid is.

c Darifa houdt de sleutel nu precies in het midden vast en trekt weer met 300 N en in dezelfde richting aan de sleutel.
Onderstreep de juiste woorden. Het uitgeoefende moment is nu *groter dan* / *gelijk aan* / *kleiner dan* het uitgeoefende moment in figuur 14. Geef ook een uitleg bij je keuze.



figuur 14 De momentsleutel van Darifa.

Practica

PROEF 1 EEN SPIRAALVEER UITREKKEN

30 minuten

Inleiding

Een spiraalveer rekt uit als je er gewichtjes aan hangt. De uitrekking is het aantal centimeter waarmee de lengte van de veer toeneemt. Als een veer zonder gewichtjes 12,0 cm lang is en met gewichtjes 15,8 cm, dan is de uitrekking 3,8 cm.

Doel

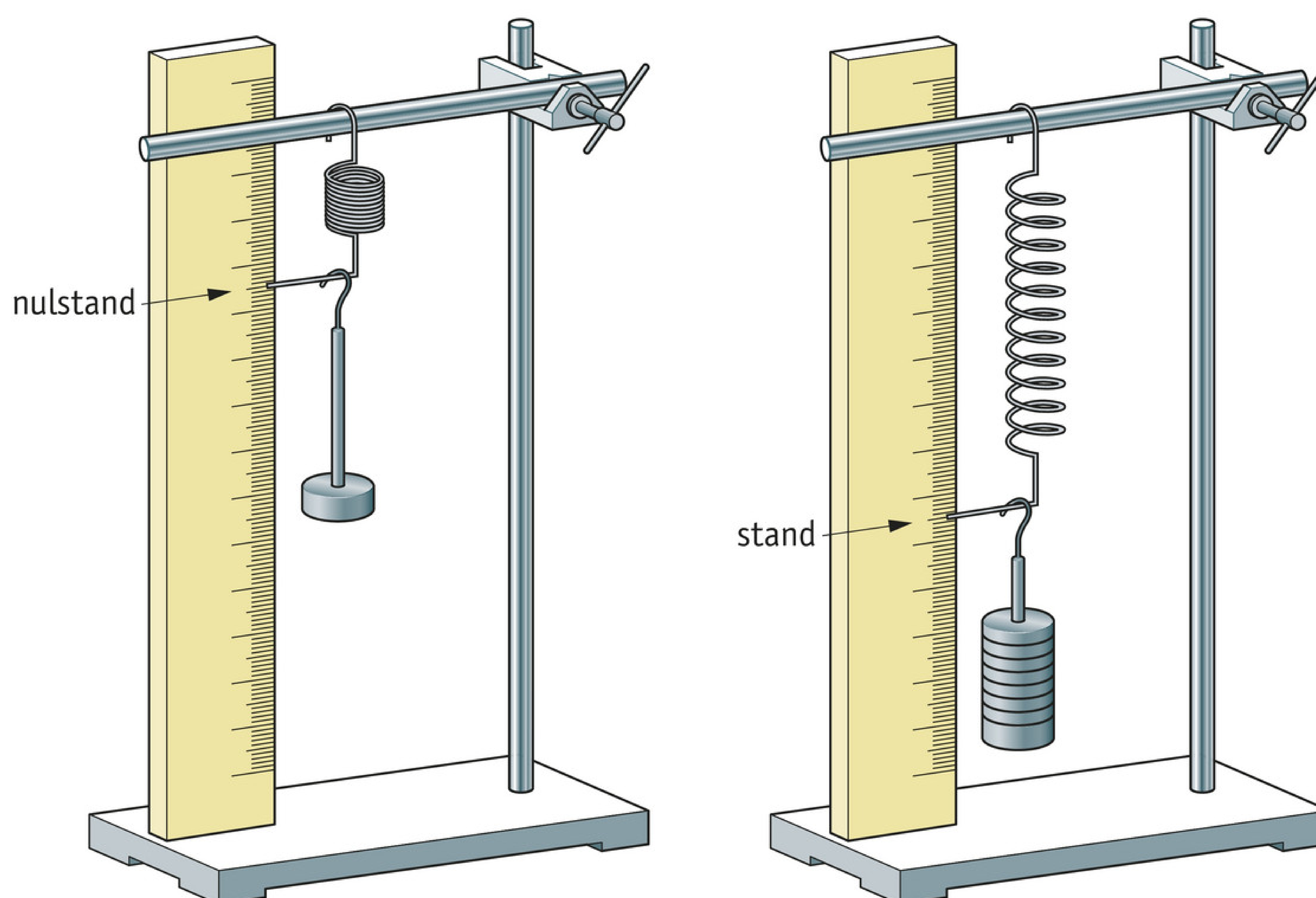
Je onderzoekt hoe een spiraalveer uitrekt. De onderzoeksvraag is:
Wat is het verband tussen de kracht en de uitrekking?

Nodig

- ☐ statiefmateriaal
- ☐ gewichtendrager
- ☐ gewichtjes
- ☐ spiraalveer
- ☐ liniaal

Uitvoeren en uitwerken

- Bouw de opstelling die in figuur 1 is getekend.
- Hang de gewichtendrager zonder gewichtjes aan de veer.
- Noteer de plaats van de onderkant van de gewichtendrager (de nulstand).
- Leg achtereenvolgens een, twee, drie, enzovoort, gewichtjes op de gewichtendrager. Bepaal steeds de bijbehorende uitrekking van de veer (= stand − nulstand).



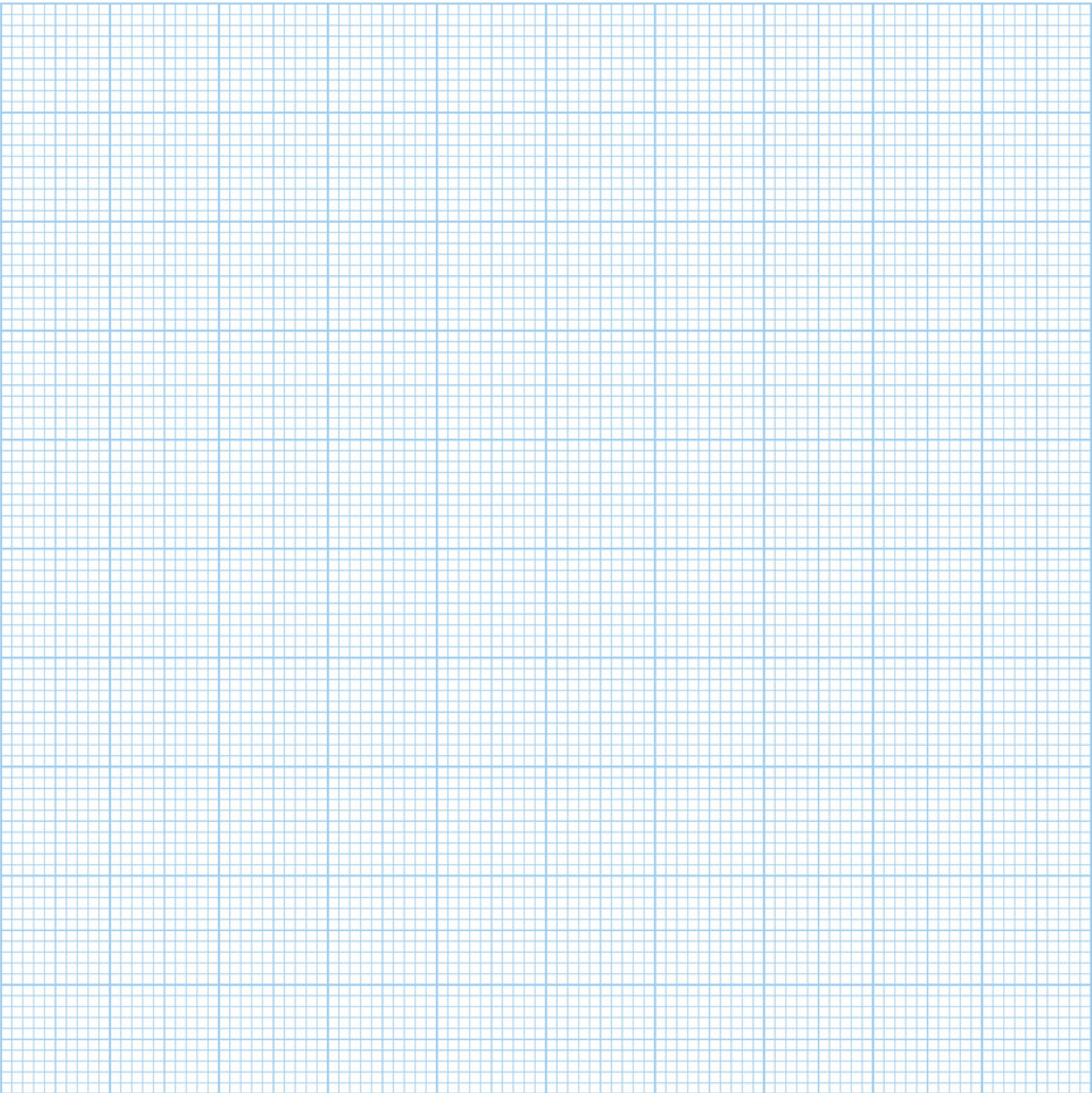
figuur 1 De opstelling van proef 1.

1 Noteer de massa van de gewichtjes, de kracht op de veer en de bijbehorende uitrekking in tabel 1.

tabel 1 De meetgegevens van proef 1.

aantal gewichtjes	massa gewichtjes (g)	kracht op de veer (N)	uitrekking (cm)
0	0	0	0
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

2 Verwerk je meetresultaten tot een grafiek.



3 Zie de vaardigheid *Verbanden meten*. Wat voor soort verband bestaat er tussen de kracht op een veer en de uitrekking?

....

....

4 Bepaal de veerconstante van de veer. Schrijf op hoe je dat hebt gedaan.

....

....

....

....

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

PROEF 2 EEN REGEL VOOR EVENWICHT

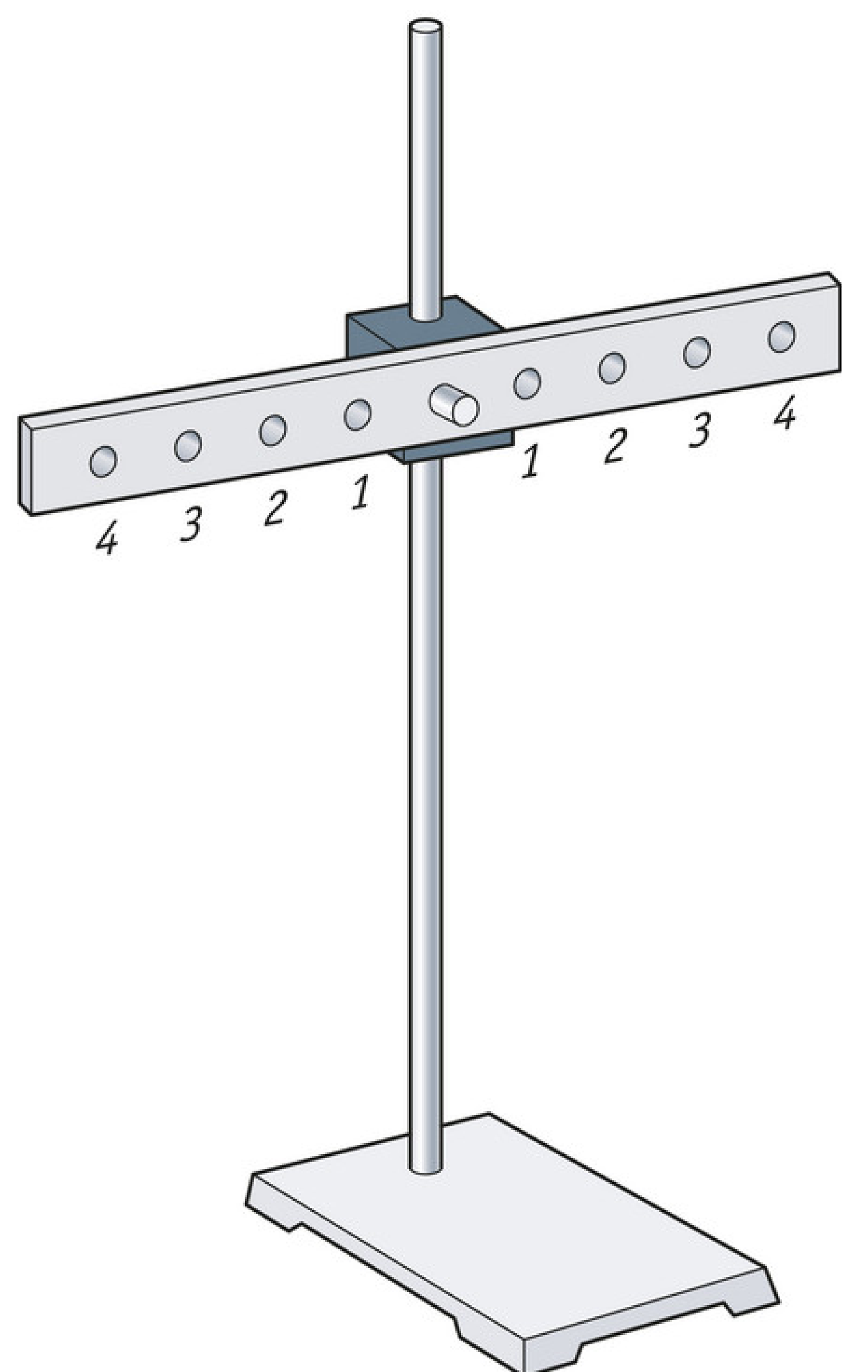
45 minuten

Inleiding
Hefbomen gebruik je elke dag. Flessenopeners, steeksleutels, fietstrappers, deurkrukken, tangen, scharen: het zijn allemaal hefbomen. Zelfs voor zoiets eenvoudigs als het opendoen van een deur heb je al een hefboom nodig.

Doel
Je onderzoekt wanneer een hefboom in evenwicht is. De onderzoeksvraag is:
Welke regel is er voor het evenwicht van een hefboom?

Nodig
- ☐ statiefmateriaal
- ☐ hefboom met gaatjes
- ☐ 9 gewichtjes

Uitvoeren en uitwerken
- Maak de opstelling die in figuur 2 is getekend. Als de hefboom horizontaal hangt, is hij in evenwicht.
- Hang één gewichtje in gaatje 4 links van het ophangpunt; het evenwicht wordt dan verstoord.
- Breng de hefboom in evenwicht door gewichtjes te hangen in gaatje 1 rechts.



figuur 2 De opstelling van proef 2.

1 Noteer op de juiste plaats in tabel 2 het aantal gewichtjes.
- Haal de gewichtjes in gaatje 1 rechts weer weg.
- Hang gewichtjes in gaatje 2 rechts, tot er evenwicht is. Noteer dit aantal op de juiste plaats in de tabel.
- Bedenk zelf wat je moet doen om de rest van de tabel in te kunnen vullen en noteer alle uitkomsten in de tabel.

tabel 2 De meetgegevens van proef 2.

linkerkant van de hefboom	rechterkant van de hefboom
1 gewichtje in gaatje 4	..... gewichtjes in gaatje 1
1 gewichtje in gaatje 4	..... gewichtjes in gaatje 2
1 gewichtje in gaatje 4	..... gewichtjes in gaatje 4
2 gewichtjes in gaatje 3	..... gewichtjes in gaatje 1
2 gewichtjes in gaatje 3	..... gewichtjes in gaatje 2
2 gewichtjes in gaatje 3	..... gewichtjes in gaatje 3

2 Welke regel kun je uit de tabel afleiden? Schrijf die regel in je eigen woorden op.

....

....

....

Met behulp van de regel die je hebt opgesteld kun je voorspellen of een hefboom in evenwicht is, of niet. Je controleert of de regel die je hebt opgesteld juist is. Als hij juist is, dan heb je zelf de momentenwet geformuleerd.

3 In tabel 3 worden zes situaties beschreven. Bereken hoe je in elke situatie evenwicht kunt maken.
- Noteer met potlood in tabel 3 het aantal benodigde gewichtjes.
- Controleer je voorspellingen door proeven te doen.

4 Welke uitkomsten had je goed voorspeld?
- Maak zo nodig een nieuwe berekening voor de uitkomsten die je niet goed had voorspeld.
- Controleer je nieuwe uitkomsten.

5 Vul tabel 3 ten slotte definitief in met pen.

tabel 3 Zes situaties van evenwicht.

linkerkant van de hefboom	rechterkant van de hefboom
1 gewichtje in gaatje 2	..... gewichtjes in gaatje 1
2 gewichtjes in gaatje 2	..... gewichtjes in gaatje 1
3 gewichtjes in gaatje 2	..... gewichtjes in gaatje 1
2 gewichtjes in gaatje 4	..... gewichtjes in gaatje 2
1 gewichtje in gaatje 4 en 1 gewichtje in gaatje 2	..... gewichtjes in gaatje 3
2 gewichtjes in gaatje 4 en 1 gewichtje in gaatje 1	..... gewichtjes in gaatje 3

PROEF 3 EEN KRACHTMETER ONTWERPEN

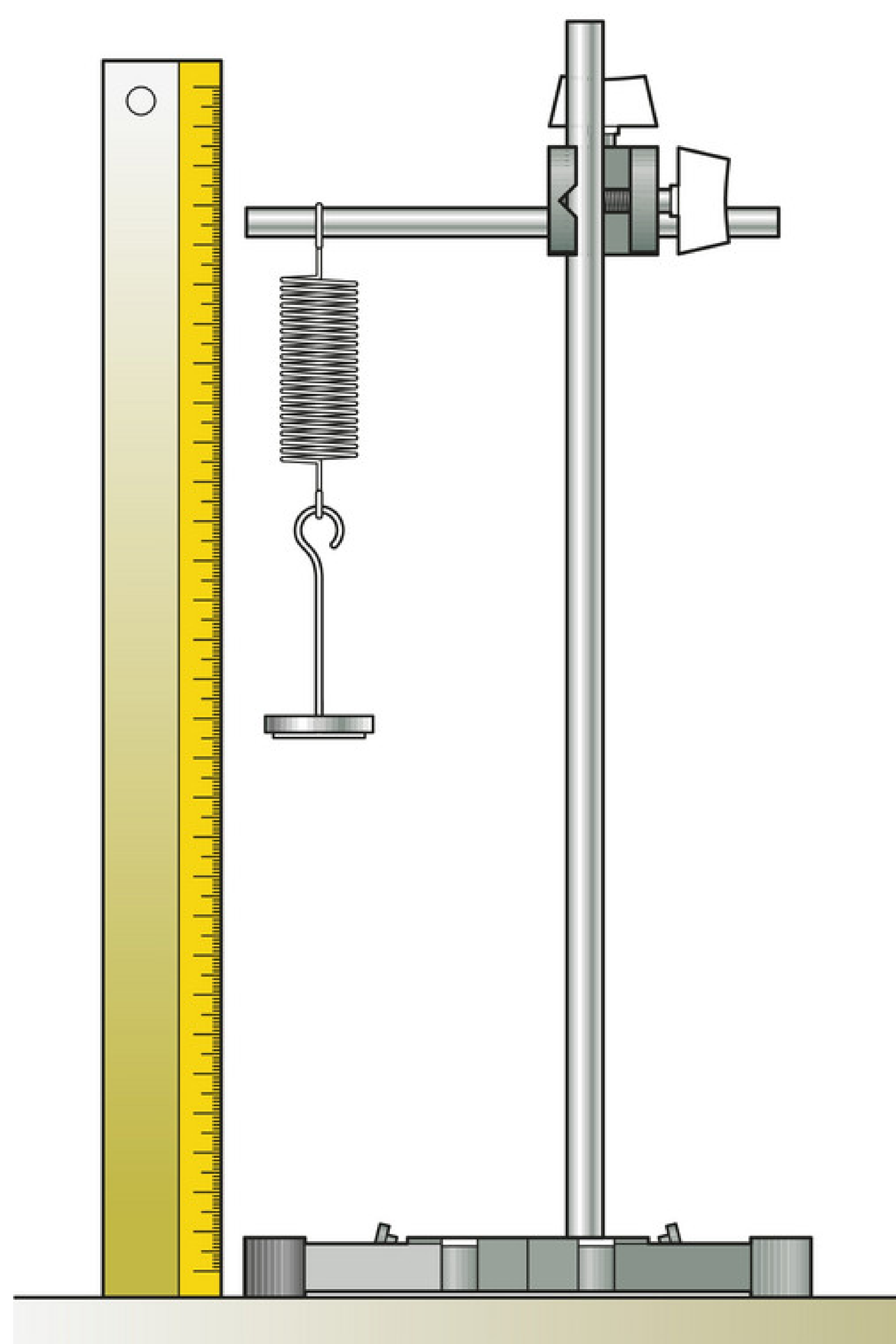
45 minuten

Inleiding
Stel je voor: een fabriek van meetinstrumenten brengt een nieuw model krachtmeter op de markt, waarmee je krachten nauwkeurig kunt meten. Er is al een spiraalveer voor de nieuwe meter gekozen. Aan jou de taak om het ontwerp af te maken met een nauwkeurige en goed af te lezen schaalverdeling.

Doel
Bij deze proef maak je zelf een schaalverdeling.

Ontwerpeisen
- Het meetbereik van de krachtmeter is minstens 0-1 N.
- De afstand tussen de streepjes van de schaalverdeling is maximaal 0,1 N.
- De krachtmeter is op zijn minst even nauwkeurig als een 'gewone' krachtmeter.

Nodig
De basisopstelling is getekend in figuur 3. Je maakt zelf een lijst van wat je nodig hebt.



figuur 3 De opstelling van proef 3.

Uitvoeren en uitwerken
1 Noteer welke practicumspullen je nodig hebt.

....

....

....

....

....

2 Leg uit hoe je de krachtmeter gaat ijken.

....

....

....

....

- Laat de lijst met practicumspullen en je ijkmethode controleren door je docent.
- Bouw de krachtmeter en voorzie hem van een schaalverdeling. Test daarna of hij voldoet aan de drie ontwerpeisen.

3 Leg uit hoe je de test hebt uitgevoerd.

....

....

....

....

- Breng zo nodig verbeteringen aan.
- Maak zo nodig een nieuwe schaalverdeling.
- Laat de krachtmeter ten slotte beoordelen door je docent.

4 Maak een verslag van deze proef met daarin:

a een foto van de opstelling met de geijkte schaalverdeling;
b de manier waarop je de schaalverdeling hebt gemaakt;
c de manier(en) waarop je de schaalverdeling hebt getest;
d je conclusies. Hoe nauwkeurig is de krachtenmeter?

Torenkranen: evenwichtskunst op grote hoogte



De cabine is klein, maar het uitzicht is adembenemend. Kraanmachinist Arno geniet er elke dag van (figuur 1). “Vooral als ’s ochtends de zon opgaat. Dat blijft mooi, hoe vaak je het ook ziet,” vertelt hij. Niet dat hij veel tijd heeft om rond te kijken. “Het werk gaat voor,” zegt hij. “In de bouw let iedereen op veiligheid, maar als kraanmachinist moet je extra alert zijn. Je mag nooit vergeten dat er onder je kraan mensen aan het werk zijn.”

DE POTAIN MD 560B

Arno’s kraan is een 560B van het Franse bedrijf Potain. In tabel 1 zijn de fabrieksgegevens weergegeven.

tabel 1 Technische gegevens.

vermogen	120 kW (hijsmotor 94 kW)
aansluitspanning	400 V
hefvermogen	25 000 kg
zwenksnelheid	max. 0,7 omw/min
lastmoment	max. 500 tonmeter
gieklengte	35 t/m 80 m
haakhoogte	max. 78,6 m

Een piepkleine liftkooi brengt Arno elke dag naar zijn werkplek, boven in een torenkraan. Met behulp van knoppen, hendels en pedalen hijst hij bouwmaterialen op en zet ze op de juiste plek neer. “Hijsen is teamwerk,” zegt hij, “al zit je wel alleen in de cabine. Met de portofoon heb ik contact met mijn collega’s beneden. Ze gebruiken ook gebaren om me aanwijzingen te geven.”

Het afgelopen halfjaar heeft Arno de woontoren waaraan hij werkt steeds verder zien groeien. Zijn kraan groeide ondertussen met het gebouw mee. Af en toe werd de mast hoger gemaakt door er

een extra stuk tussenin te zetten. Arno begon op 50 meter hoogte en zit nu op 80 meter. Van daaruit kijkt hij neer op het dak van de woontoren, ongeveer 15 meter onder zijn cabine.

“Op het moment dat de last loskomt van de grond, voel je de kraan even wiebelen.”

BALANCEREN

De giek van Arno’s kraan – de lange arm met de hijsinstallatie – is 65 meter lang. Langs de giek beweegt een ‘loopkat’ heen en weer, met daaraan de hijskabels, de takel en de hijshaak (figuur 2). Hiermee wordt de last omhooggehesen en verplaatst. De contragiek – de arm aan de andere kant van de cabine – is veel korter. Hieraan hangt een contragewicht dat bestaat uit grote betonblokken.

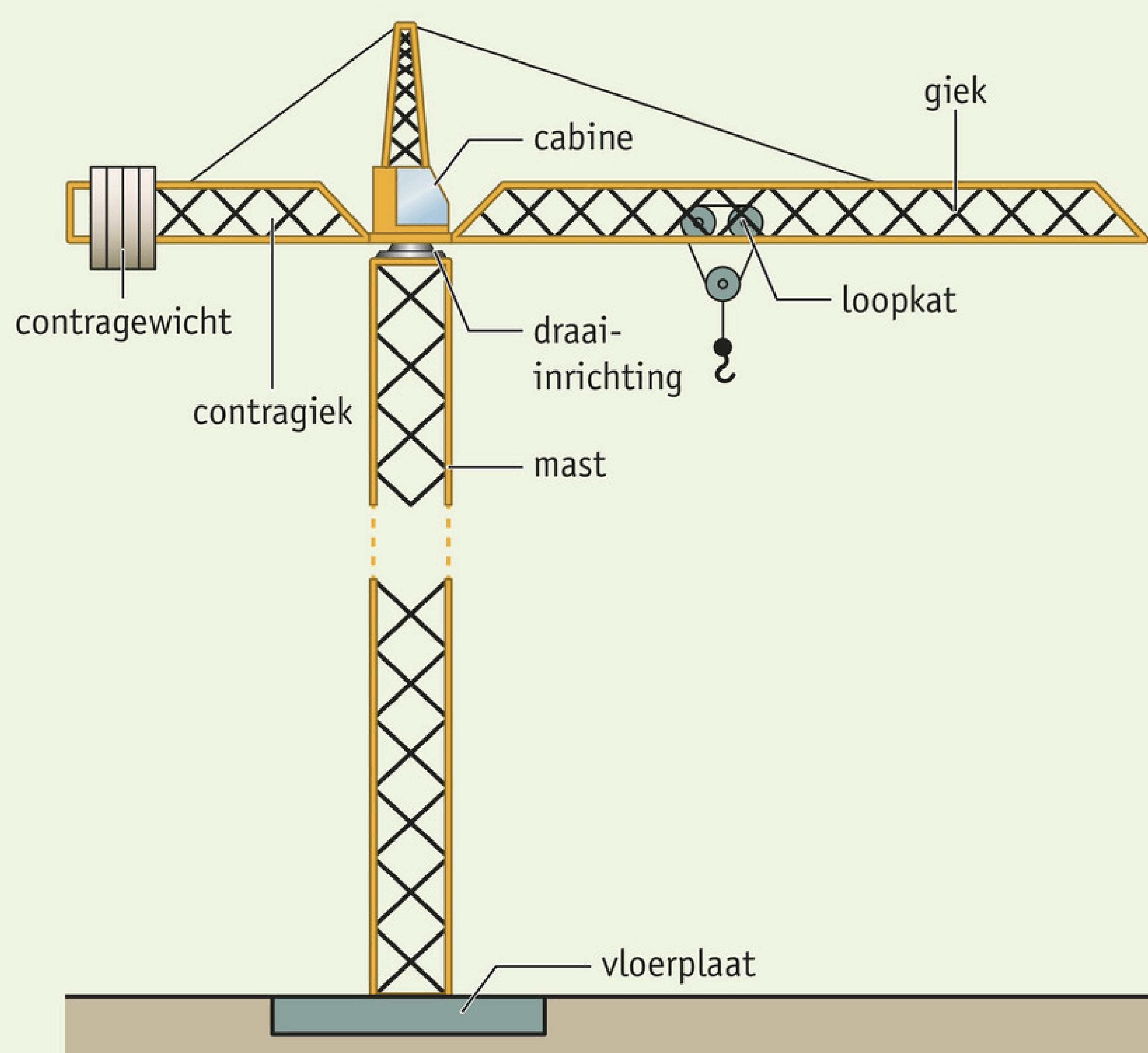


figuur 1 Het uitzicht van kraanmachinist Arno.

Als er geen last aan de kraan hangt, zijn de momenten op de lange arm en de korte arm even groot. De kraan is dan in balans. Dat verandert als de kraan een last gaat ophijsen. Het moment van de lange arm neemt dan toe en het oorspronkelijke evenwicht wordt verstoord. Dat de kraan dan niet omvalt, komt doordat hij aan een zware betonnen plaat is verankerd. Dat zorgt voor een tegenkracht waardoor het evenwicht weer snel herstelt.

Het duurt altijd een paar seconden voordat de kraan weer helemaal in evenwicht is. Arno kan daarover meepraten: “Op het moment dat de last loskomt van de grond, voel je de kraan even wiebelen. In het begin moest ik daar erg aan wennen. Je realiseert je opeens dat je het evenwicht ook echt kunt verliezen.

Hoe maak je een kraan hoger?



figuur 2 Onderdelen van de torenkraan.

Om een torenkraan op te hogen, worden losse mastdelen gebruikt. Met een slim systeem kunnen deze onder de draai-inrichting van de kraan worden ingevoegd. De kraan hijst zo’n mastdeel zelf naar boven. Daarna wordt de hele top van de kraan, met de giek en de contragiek, hydraulisch omhoog gekrikt. Ten slotte wordt het nieuwe mastdeel in de vrijgekomen ruimte geschoven en vastgezet. De kraan is dan weer klaar voor de volgende bouwfase.



figuur 3 De kraan kan grote gewichten omhooghijsen.

Het is natuurlijk ook niet niks wat je daar aan de haak hebt hangen."

BIJ TWIJFEL: KIJK IN DE HIJSTABEL!

Arno's kraan heeft een fors hefvermogen. Als het moet, kan hij 25 ton in één keer omhooghijsen (figuur 3). "Maar dat mag alleen als de last zich niet te ver van de mast bevindt. Het maximum is 20 meter," vertelt hij. "Bij een grotere afstand wordt het moment van de last te groot, en daar is de kraan niet op gebouwd. Als de gieklengte 80 meter is, ligt de veiligheidsgrens bij 25 ton × 20 meter = 500 tonmeter. Dat noem je het maximale lastmoment."

Als Arno aan het werk is, moet hij dus twee dingen in de gaten houden: de grootte van de last én de grootte van de 'vlucht' (zo noemen kraanmachinisten de afstand tussen de mast en de last). Als de last klein is, *kan* hij voor een grote vlucht kiezen. Maar als de last groot is, *moet* hij de vlucht klein houden. Anders bestaat het gevaar dat de giek of de mast plotseling doorbuigt of breekt.

Bij elke kraan hoort een hijstabel. Daarin kan de machinist opzoeken hoe groot de vlucht mag zijn voor een gegeven last, of omgekeerd. In tabel 2 zie je een vereenvoudigde versie van Arno's hijstabel. De echte hijstabel ziet er net zo uit, alleen is die veel gedetailleerder.
Als Arno een last van 10 ton moet verplaatsen, zoekt hij in de tabel eerst de gieklengte op. "De giek bestaat uit losse delen die aan elkaar gekoppeld worden," legt hij uit. "Voor elke klus wordt van tevoren berekend hoe lang de giek moet zijn. Bij deze klus is dat 65 meter." In de tabel staat dat er bij een gieklengte van 65 meter en een vlucht van 50 meter maximaal 10,1 ton aan de haak mag hangen. "Met mijn 10 ton blijf ik daar net iets onder," zegt Arno, "dus kan ik de last op 50 meter van de mast neerzetten."

VEILIGHEID VOOR ALLES

Als kraanmachinist is Arno verantwoordelijk voor de veiligheid. "Dat staat voor mij op nummer één," zegt hij beslist. "Gelukkig gebeuren er met torenkranen weinig ongelukken. Maar het hoeft maar een keer echt fout te gaan en je hebt meteen een heleboel ellende. Daarom moet je je hoofd er altijd goed bij hebben. Je kunt dit werk niet uit de losse pols doen."

Gelukkig zijn er ontwikkelingen die de veiligheid vergroten. Camera's laten de machinist zien wat er ver onder hem gebeurt. Elektronische systemen slaan alarm als de last of het lastmoment te groot wordt. Maar de machinist zelf blijft de belangrijkste schakel in de veiligheidsketen. Of zoals Arno het zegt: "Al die techniek in de cabine, dat is prachtig. Maar zit er een gek achter de knuppel, dan heb je er niks aan. Het evenwicht moet ook tussen de oren zitten."

tabel 2 Hijstabel van Arno's kraan.

giek-lengte	maximale last bij een vlucht van						
	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m
80 m	25,0 t	16,8 t	12,2 t	9,3 t	7,4 t	6,0 t	5,0 t
65 m	25,0 t	18,0 t	12,9 t	10,1 t	8,1 t		
50 m	25,0 t	19,0 t	13,6 t	10,7 t			
35 m	25,0 t	19,8 t					

OPDRACHTEN

1 Sommige hijskranen hebben een contragewicht dat langs de contragiek heen en weer kan bewegen.
Leg uit:

- **a** welk voordeel zo'n verplaatsbaar contragewicht heeft vergeleken met een vast contragewicht.
- **b** waarom het contragewicht niet van zijn plaats komt, als de last recht omhoog wordt gehesen.
- **c** waarom het contragewicht wel in beweging komt, als je de afstand tussen de last en de mast verandert.

2 Zoek op internet informatie over het huren van mobiele hijskranen.

- **a** Bedenk zelf een realistische hijsklus. Noteer de last (in kg) en de vlucht (in m).
- **b** Bereken hoe groot het maximale moment van de last van jouw 'huurkraan' moet zijn.
- **c** Zoek een verhuurbedrijf op internet dat de juiste hijskraan voor deze klus heeft. Noteer welke hijskraan je hebt gekozen en leg uit waarom dit een goede keuze is.

★ 3 Bekijk de hijstabel in de tekst (tabel 2).

- **a** Welke invloed heeft de gieklengte op de maximale last die je (bij een bepaalde vlucht) kunt ophijsen?
- **b** Hoe komt het dat de gieklengte invloed op de maximale last heeft? Gebruik in je uitleg het begrip 'moment'.

Leerstofoverzicht

2.1 SOORTEN KRACHTEN

ONTHOUD

- Als een kracht op een voorwerp wordt uitgeoefend, dan zal de beweging of de vorm van dat voorwerp veranderen. Deze vervorming kan elastisch of plastisch zijn.
- Spierkracht, veerkracht, zwaartekracht, magnetische kracht en spankracht zijn voorbeelden van krachten.
- Krachten kun je meten met een krachtmeter.
- De zwaartekracht op een voorwerp bereken je met de formule $F_z = m \cdot g$, waarbij g op aarde een waarde heeft van afgerond 9,8 N/kg.
- Een kracht teken je als een pijl, met een beginpunt, een richting en een lengte.

BEGRIPPEN

elastische vervorming
Vervorming waarbij de oorspronkelijke vorm weer terugkomt als de kracht ophoudt te werken.

kracht
Natuurkundig begrip dat duidelijk maakt hoe voorwerpen elkaars vorm en/of beweging veranderen.

krachtenschaal
Verhouding die je kiest om krachten te kunnen tekenen. Geeft aan hoe groot de kracht is die 1 cm van de krachtenpijl voorstelt.

krachtmeter
Instrument met een spiraalveer waarmee je krachten kunt meten.

magnetische kracht
Kracht die werkt tussen de twee polen van een magneet. Kan afstotend of aantrekkend zijn.

plastische vervorming
Vervorming waarbij het voorwerp blijvend wordt vervormd nadat er een kracht op is uitgeoefend.

spankracht
Kracht die in een touw ontstaat, als er aan beide uiteinden wordt getrokken.

spierkracht
Kracht die ontstaat doordat de spieren in een lichaam zich samentrekken.

vector
Pijlvormige weergave van de grootte, de richting en het aangrijpingspunt van een kracht.

veerkracht
Kracht die ontstaat als je een veerkrachtig materiaal uitrekt of indrukt.

zwaartekracht
Kracht waarmee de aarde aan jou trekt en aan alle voorwerpen om je heen.

zwaartepunt
Een (denkbeeldig) punt waar je de zwaartekracht op een voorwerp kunt laten aangrijpen.

2.2 MEER DAN ÉÉN KRACHT

ONTHOUD

- Als de krachten die worden uitgeoefend op een voorwerp in rust of in evenwicht zijn, dan gebeurt er niets met het voorwerp.
- De veerconstante van een veer bereken je met de formule: $C = \frac{F}{u}$
- De resultante bereken je door de krachten langs een lijn bij elkaar op te tellen: krachten in de ene richting als positieve getallen, krachten in de andere richting als negatieve getallen.

BEGRIPPEN

normaalkracht
Kracht die loodrecht op, of vanuit, een voorwerp werkt. Bijvoorbeeld de kracht van een tafelblad op een fruitschaal.

nulstand
De lengte van een veer als die niet wordt uitgerekt.

recht evenredig
Twee variabelen zijn recht evenredig als ze naar verhouding evenveel toenemen of afnemen.

resultante
De optelsom van alle krachten die op een voorwerp werken.

uitrekking
De afstand waarmee de lengte van een veer toeneemt als er een kracht op wordt uitgeoefend.

veerconstante
Eigenschap van een veer die aangeeft hoe ver de veer uitrekt, als er een kracht op wordt uitgeoefend.

2.3 HEFBOMEN

ONTHOUD

- Een hefboom is een voorwerp met een draaipunt waarop krachten (buiten het draaipunt) werken.
- Het moment van een kracht bereken je met de formule: $M = F \cdot r$
- De arm van het moment is de kortste afstand tussen het draaipunt en de werklijn van de kracht die op de hefboom werkt.
- Als een hefboom in evenwicht is, dan kun je de hefboomwet toepassen: $M_1 + M_2 + ...$ (linksom) = $M_1 + M_2 + ...$ (rechtsom)

BEGRIPPEN

arm
De (loodrechte) afstand tussen de werklijn van een kracht en het draaipunt van een hefboom.

draaipunt
Punt waar een hefboom omheen draait.

hefboom
Gereedschap waarmee een kleine kracht (die over een grote arm werkt) kan worden omgezet in een grote kracht (die over een kleine arm werkt). De term wordt ook gebruikt voor het principe dat hieraan ten grondslag ligt.

moment
Het product van de grootte van de kracht en de lengte van de arm.

momentenwet
Regel die aangeeft dat een hefboom in evenwicht is als de som van de momenten linksom gelijk is aan de som van de momenten rechtsom.

werklijn
De lijn waarlangs een kracht werkt.

2.4 WERKTUIGEN

ONTHOUD

- In werktuigen komen enkele en dubbele hefbomen voor. Sommige werktuigen hebben het draaipunt op een uiteinde.
- Bij werktuigen kun je de momentenwet toepassen als de hefboom nog net in evenwicht is. Je gebruikt de formule: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$

BEGRIPPEN

dubbele hefboom
Twee hefbomen met een gemeenschappelijk draaipunt. Voorbeelden zijn snoeischaren, notenkrakers en nijptangen.

enkele hefboom
Een werktuig dat in zijn geheel als één hefboom functioneert. Denk bijvoorbeeld aan flessenopeners, steeksleutels en bandenlichters.



Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

3 Energie

DUURZAME ENERGIEBRONNEN

Mensen willen comfortabel wonen. De energie die daarvoor nodig is, komt steeds vaker van duurzame energiebronnen zoals zonnepanelen. Tegelijk willen mensen hun energierekening laag houden. Dat is niet alleen goed voor het milieu, maar ook voor je portemonnee.



Wat weet je al over energie?

LEERDOELEN

1 Je kunt uitleggen wat de celsiusschaal en het meetbereik van een thermometer zijn.
2 Je kunt eenheden van energie omrekenen.
3 Je kunt uitleggen waarom lucht een warmte-isolator is.
4 Je kunt uitleggen waarom een apparaat met een groter vermogen meer elektrische energie verbruikt.
5 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen vermogen, spanning en stroomsterkte.
6 Je kunt de elektrische energie berekenen die in een bepaalde tijd is omgezet.

In deel 1-2 van Nova nask en in hoofdstuk 1 van dit boek heb je al een aantal dingen over energie en warmte geleerd. Je hebt deze kennis weer nodig wanneer je aan dit hoofdstuk begint. Wil je snel controleren wat je nog weet? Maak dan de volgende opdrachten.

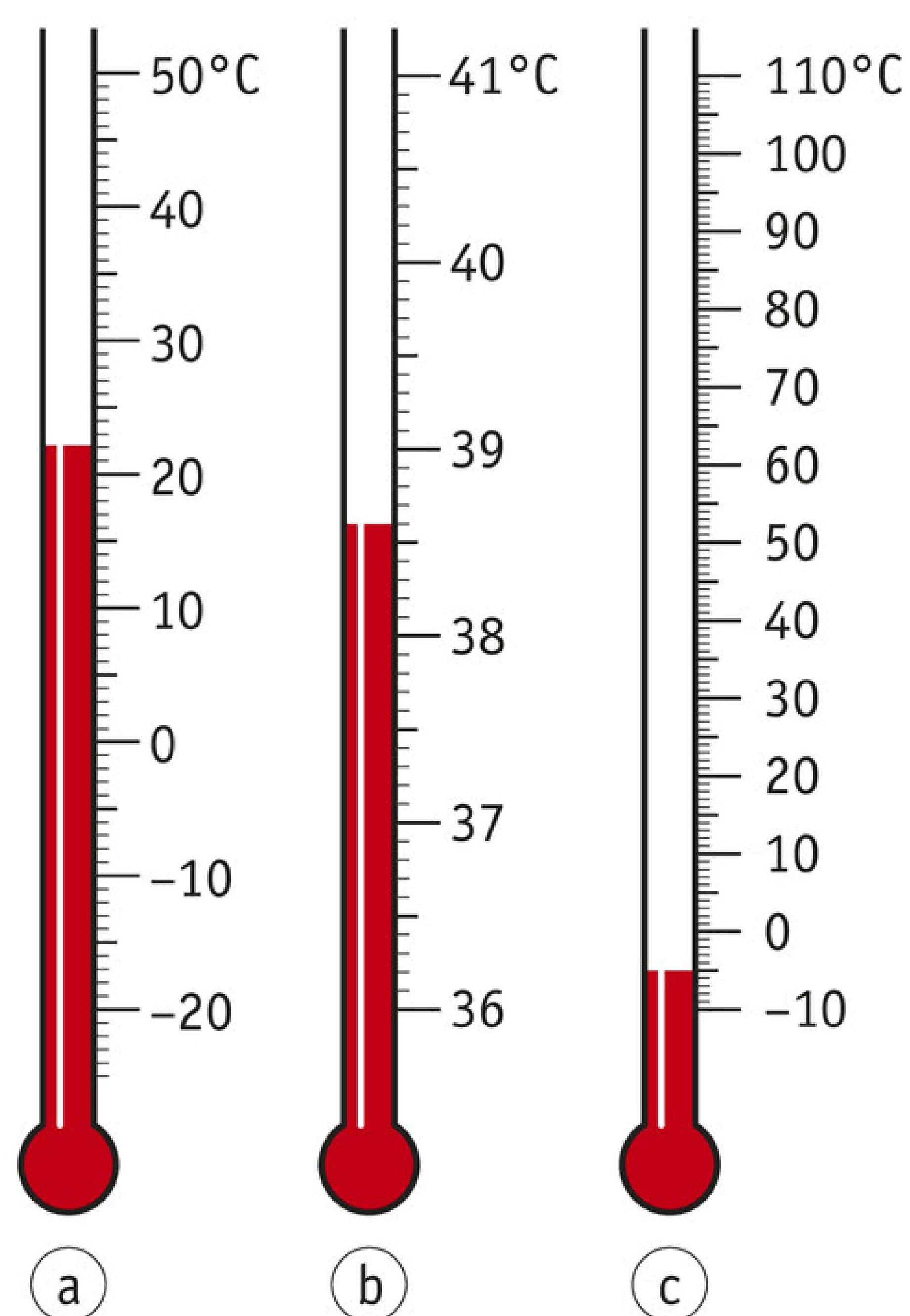
OPDRACHTEN VOORKENNIS

1 Bekijk figuur 1.
Noteer het meetbereik van iedere thermometer.

a ....

b ....

c ....



figuur 1 Drie thermometers.

2 Als je een schaalverdeling op een vloeistofthermometer wilt maken, dan neem je als nulpunt de temperatuur van .... Deze temperatuur is .... °C. Voor het bovenste punt van de schaalverdeling neem je de temperatuur van .... Deze temperatuur is .... °C.

3 Reken om.

22 kW = ...$\cdot 10^4$ W

0,060 kW = ... W

17 MW = ...$\cdot 10^4$ kW

$3{,}25 \cdot 10^7$ W = ... MW

4 Onderstreep de materialen die een goede warmte-isolator zijn.
aluminium – dons – hout – ijzer – koper – piepschuim

5 Je mixt een smoothie in een blender. Op dat moment gaat er door de blender een stroom van 2,17 A. De blender is via een stekker aangesloten op een stopcontact.
Bereken het vermogen van de blender.

....

....

....

6 Jeremy moet van zijn vader de woonkamer stofzuigen. Hij is hier 15 minuten mee bezig.
De stofzuiger heeft een vermogen van 600 W.
Bereken hoeveel energie (in kWh) de stofzuiger in die tijd heeft verbruikt.

....

....

....



Wil je weten of je voldoende voorkennis hebt voor dit hoofdstuk, maak dan online de *Voorkennistoets*. Daar vind je ook filmpjes over de belangrijkste leerdoelen voor dit hoofdstuk. Of scan de QR-code om direct naar een filmpje te gaan:



Energie



Vermogen

1 Energiebronnen

LEERDOELEN

3.1.1 Je kunt uitleggen wat een energiebron is.
3.1.2 Je kunt zes energiebronnen beschrijven.
3.1.3 Je kunt kenmerken van energiebronnen benoemen.
3.1.4 Je kunt de ideale energiebron beschrijven.
3.1.5 Je kunt vier kenmerken van de energietransitie benoemen.
PLUS 3.1.6 Je kunt de zwaarte-energie berekenen.

In Nederland is veel discussie over energiebronnen. De overheid wil het gebruik van aardgas sterk verminderen. Duurzame energiebronnen, zoals wind en zon, moeten een groter aandeel krijgen. Niet iedereen is daar blij mee, want elke energiebron heeft behalve voordelen ook nadelen.

WAT IS EEN ENERGIEBRON?

Alles wat een bruikbare soort energie kan leveren, noem je een **energiebron**. In een energiebron is een soort energie opgeslagen die een energieomzetter kan gebruiken:

- Een zonnecel kan de stralingsenergie van zonlicht gebruiken.
- Een windmolen kan de bewegingsenergie van stromende lucht gebruiken.
- Een gasfornuis kan de chemische energie van aardgas gebruiken.

Zonlicht, wind en aardgas zijn dus voorbeelden van energiebronnen: het zijn leveranciers van een bruikbare soort energie.

ENERGIEBRONNEN

Hierna zijn zes energiebronnen beschreven die in Nederland worden gebruikt. Achter de energiebron staat het aandeel van de energiebron in het totale energiegebruik in Nederland in 2018 (bron: www.cbs.nl).

Fossiele brandstoffen (91,4%)

Fossiele brandstoffen zoals aardolie, aardgas en steenkool bevatten chemische energie. Aardolieproducten worden op grote schaal in het transport gebruikt. Aardgas wordt gebruikt voor het verwarmen van gebouwen en in elektriciteitscentrales. Steenkool wordt in Nederland in enkele elektriciteitscentrales gebruikt (figuur 1).



figuur 1 Een kolengestookte elektriciteitscentrale in de Eemshaven in Noord-Groningen.

Biomassa (4,5%)
Biomassa is materiaal dat van planten en dieren afkomstig is. Je kunt denken aan snoei- en afvalhout, plantenresten en mest, maar ook aan gewassen zoals koolzaad en maïs. Biomassa levert chemische energie. Sommige soorten biomassa kun je direct verbranden. Mest kun je in een biogasinstallatie vergisten. Hierbij ontstaat een gasvormig product: biogas. Biogas lijkt qua samenstelling sterk op aardgas. Je kunt het voor dezelfde doelen gebruiken.

Wind (1,7%)
Wind wordt steeds belangrijker als energiebron. Je ziet steeds meer grote windmolens in het landschap. De wieken van zo'n windmolen of **windturbine** drijven een generator aan die in de molen is ingebouwd. Op die manier wordt de **bewegingsenergie** van de wind omgezet in elektrische energie.

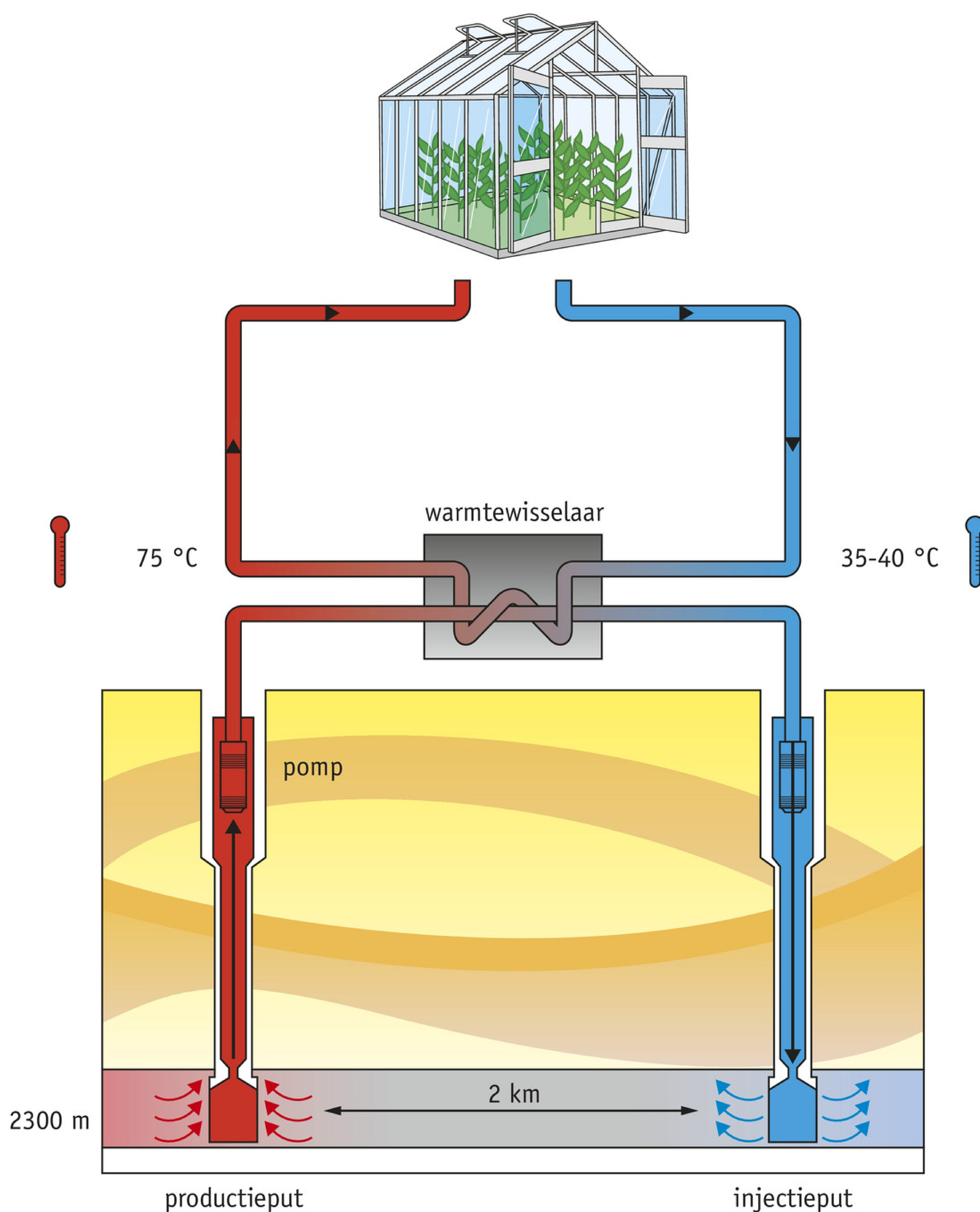
Atoomsplijting (1,4%)
Sommige atoomkernen, zoals die van uranium, kunnen worden gespleten. Bij het splijten van zo'n atoomkern komt veel energie in de vorm van warmte vrij. In een kerncentrale wordt die warmte gebruikt om stoom te maken. De stoom spuit met grote snelheid tegen de schoepen van een turbine die aan een generator is gekoppeld. Deze generator zet die bewegingsenergie om in elektrische energie.

Zon (0,6%)
De zon is een bron van **stralingsenergie**. Die stralingsenergie kan door een **zonnecel** worden omgezet in elektrische energie. Steeds meer mensen laten panelen met zonnecellen op het dak van hun huis of schuur aanbrengen (figuur 2).



figuur 2 Zo worden zonnepanelen gemonteerd.

Aardwarmte (0,2%)
Hoe dieper je in de aarde komt, des te hoger wordt de temperatuur. Het is mogelijk om warmte die afkomstig is uit diepe aardlagen naar het oppervlak te halen. Voor de winning van deze **aardwarmte** worden twee putten gebruikt (figuur 3). Via de eerste put wordt heet grondwater uit de diepte omhooggepompt. Dit grondwater kan vervuild zijn en zouten bevatten. Het hete grondwater wordt door een **warmtewisselaar** geleid, waar het een deel van zijn warmte afgeeft aan schoon koud water. Daarna wordt het grondwater via de tweede put weer teruggepompt, de bodem in.



figuur 3 Aardwarmte wordt onder andere gebruikt om kassen te verwarmen.

ENERGIETRANSITIE
De ideale energiebron is onuitputtelijk, altijd beschikbaar, milieuvriendelijk en goedkoop. Maar de ideale energiebron bestaat niet. Fossiele brandstoffen zijn niet onuitputtelijk. Wind en zon zijn niet altijd beschikbaar. En welke soort energiebron je ook gebruikt, nadelen voor het milieu en hoge kosten zijn er altijd.
Aardgas werd eerst gezien als een ideale energiebron, omdat bij de verbranding van aardgas alleen waterdamp en koolstofdioxide ontstaan. Koolstofdioxide is reukloos en niet giftig, en werd daarom als onschadelijk beschouwd. Pas later ontstond het besef dat koolstofdioxide een schadelijk broeikasgas is en het klimaat op aarde verandert.
Nu worden vooral de nadelen van aardgas benadrukt. De Nederlandse regering wil zo snel mogelijk ‘van het gas af’ en overschakelen op andere, ‘klimaatneutrale’ energiebronnen.

Dit wordt de **energietransitie** genoemd. Er moet een nieuw energiesysteem komen met de volgende vier kenmerken:

1 Fossiele brandstoffen vervangen
Fossiele brandstoffen zijn bijna volledig vervangen door duurzame energiebronnen, zoals wind en zon. Energiecentrales zijn gesloten of draaien op biomassa en de meeste voertuigen rijden op elektromotoren. Huizen worden verwarmd door warmtepompen of met aardwarmte of met restwarmte van de industrie.

2 Gebruik van energie beperken
Het gebruik van energie is zoveel mogelijk beperkt. Gebouwen zijn goed geïsoleerd en apparaten zijn efficiënt, zoals ledlampen en energiezuinige stofzuigers en koelkasten. Ook de bewustwording bij mensen om zuinig te zijn met energie (minder lang douchen, apparaten niet in de stand-bystand laten staan) draagt hieraan bij.

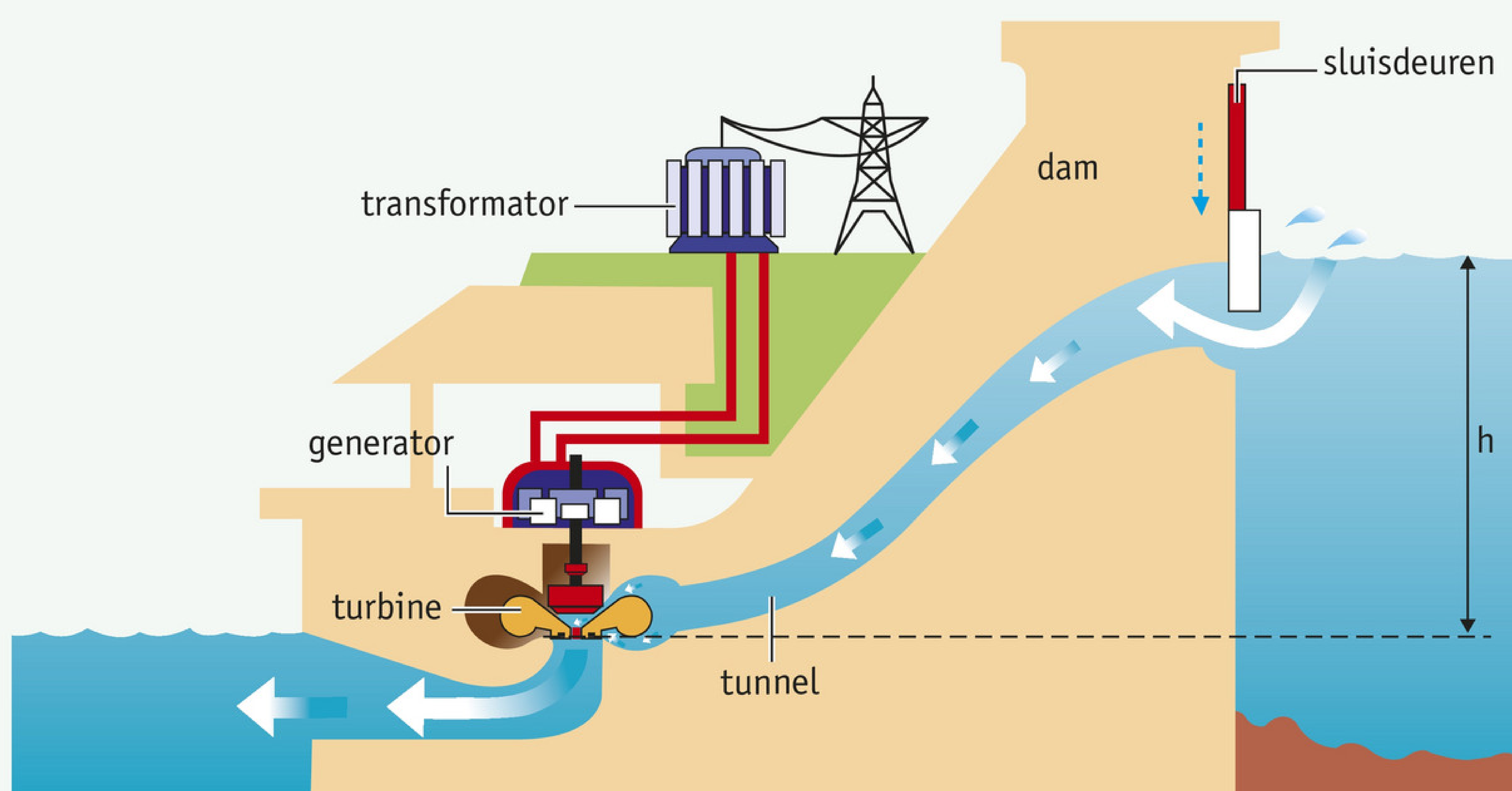
3 Energie opslaan
Er zijn mogelijkheden om op een efficiënte manier grote hoeveelheden energie op te slaan. De energiebronnen wind en zon zijn immers niet regelmatig beschikbaar. Voorbeelden hiervan zijn opslag in grote accu's of in de vorm van waterstofgas.

4 Energie lokaal produceren
De energievoorziening is meer lokaal geregeld. De energie wordt bijvoorbeeld opgewekt door zonnepanelen op daken van gebouwen en door kleine windturbineparken verspreid over het land. Grote energiecentrales zijn minder belangrijk.

PLUS DE WATERKRACHTCENTRALE

In Nederland staan slechts enkele kleine waterkrachtcentrales bij rivieren. Toch gebruik je thuis voor een deel waterkrachtenergie, omdat Nederland tegenwoordig elektriciteit uit bijvoorbeeld Noorwegen importeert.

Er bestaan verschillende soorten waterkrachtcentrales. In figuur 4 zie je een schematische voorstelling van het type dat veel in bergachtige gebieden wordt gebruikt. Nadat het stuwmeer is volgelopen wordt de centrale gestart. De jaarlijkse neerslag die nu valt, stroomt via riviertjes het stuwmeer in. Deze hoeveelheid water stroomt bij de stuwdam het meer uit, waardoor het waterniveau in het stuwmeer gemiddeld constant is.



figuur 4 Zo werkt een waterkrachtcentrale.

De zwaartekracht zorgt ervoor dat het water door de buizen bij de centrale valt waar het de turbines van de generator aandrijft. Het hoogteverschil wordt hier dus gebruikt om elektrische energie op te wekken. Als het hoogteverschil groot is, zeg je dat het water in het stuwmeer veel **zwaarte-energie** heeft.

De zwaarte-energie die het water heeft bereken je met:

$$E_z = m \cdot g \cdot h$$

Hierin is:

- E_z de zwaarte-energie in joule (J);
- m de massa van het water (die bijvoorbeeld per jaar het stuwmeer instroomt) in kilogram (kg);
- g = de gravitatieconstante: 9,8 N/kg;
- h het hoogteverschil tussen de waterspiegel en de onderkant van de stuwdam in meter (m).

VOORBEELDOPDRACHT 1

In een stuwmeer stroomt per jaar 32 miljard m^3 water met een massa van $3{,}2 \cdot 10^{13}$ kg. Het hoogteverschil tussen het oppervlak van het meer en de onderkant van de stuwdam is 40 m.
Bereken hoeveel zwaarte-energie het stuwmeer jaarlijks kan leveren.

gegevens $m = 3{,}2 \cdot 10^{13}$ kg
$g = 9{,}8$ N/kg
$h = 40$ m

gevraagd $E_z = ?$

uitwerking $E_z = m \cdot g \cdot h$
$E_z = 3{,}2 \cdot 10^{13} \times 9{,}8 \times 40 = 1{,}3 \cdot 10^{16}$ J

Moderne waterkrachtcentrales kunnen van deze hoeveelheid opgeslagen energie ongeveer 70% tot wel 90% omzetten in elektrische energie.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke fossiele brandstoffen worden in Nederland veel gebruikt?
- ☐ A aardgas
- ☐ B aardolie
- ☐ C bruinkool
- ☐ D steenkool
- ☐ E turf

b Op welke manier kun je mest als energiebron gebruiken?

c Noteer de vier kenmerken van de energietransitie.

d Wat is de definitie van een energiebron?

e Welke kenmerken heeft de ideale energiebron?

2 Vul de ontbrekende gegevens in de tabel in.

tabel 1 Zes energiebronnen die in Nederland worden gebruikt.

energiebron	soort energie	energieomzetter
		cv-ketel
biomassa		
zon		
		warmtewisselaar
	bewegingsenergie	
	kernenergie	

TOEPASSING

3 Elke energiebron heeft voor- en nadelen.

a Welke energiebron is erg schoon in het gebruik, maar veroorzaakt wel geluidshinder en horizonvervuiling?
- ○ A aardwarmte
- ○ B fossiele brandstoffen
- ○ C wind
- ○ D zon

b Welke energiebron is nu nog dag en nacht beschikbaar, maar zal ooit voorgoed uitgeput raken?
- ○ A aardwarmte
- ○ B fossiele brandstoffen
- ○ C wind
- ○ D zon

c Welke energiebron raakt nooit op, maar levert ’s winters wel veel minder energie dan in de zomer?
- ○ A aardwarmte
- ○ B fossiele brandstoffen
- ○ C wind
- ○ D zon

d Welke energiebron kan schone warmte leveren voor de tuinbouw, maar vraagt wel flinke investeringen?
- ○ A aardwarmte
- ○ B fossiele brandstoffen
- ○ C wind
- ○ D zon

4 Lees het krantenartikel in figuur 5.

a In het artikel staat dat de zonneoven het milieu spaart.
Leg uit wat er precies wordt 'gespaard'.

b In Afrika moeten mensen soms uren lopen om aan brandhout te komen. Dicht bij hun dorpen is geen hout meer te vinden.
Hoe zou dat komen?

c In het artikel worden verschillende voordelen van de zonneoven genoemd.
Bedenk zelf ook een nadeel van de zonneoven.

d De aluminium pan wordt in een plastic zak geplaatst die losjes dicht wordt geknoopt.
Waarom is het nodig een plastic zak om de pan te doen?

De Cookit

De Cookit is een eenvoudig zonnekooktoestel. Het is gemaakt van karton dat bedekt is met een laag aluminiumfolie. Het voedsel gaat in een 4 liter lichtgewicht aluminium pan, matzwart geverfd met schoolbordverf. In een hittebestendige plastic zak worden drie platte steentjes gelegd, waarop de pan wordt geplaatst. Zodoende is er circulatie van warmte rond de pan. De plastic zak wordt met een touwtje losjes dichtgebonden. Dit geheel wordt in de zon neergezet. Na twee á drie uur zijn de meeste gerechten klaar. De kwaliteit is uitstekend. De oven is goedkoop en spaart het milieu. Een gezin hoeft niet meer uren per dag hout te sprokkelen. Per zonnekooktoestel worden twintig bomen per jaar bespaard.



Bron: solarcookingkozon.nl

figuur 5 Zonne-energie voor Afrika.

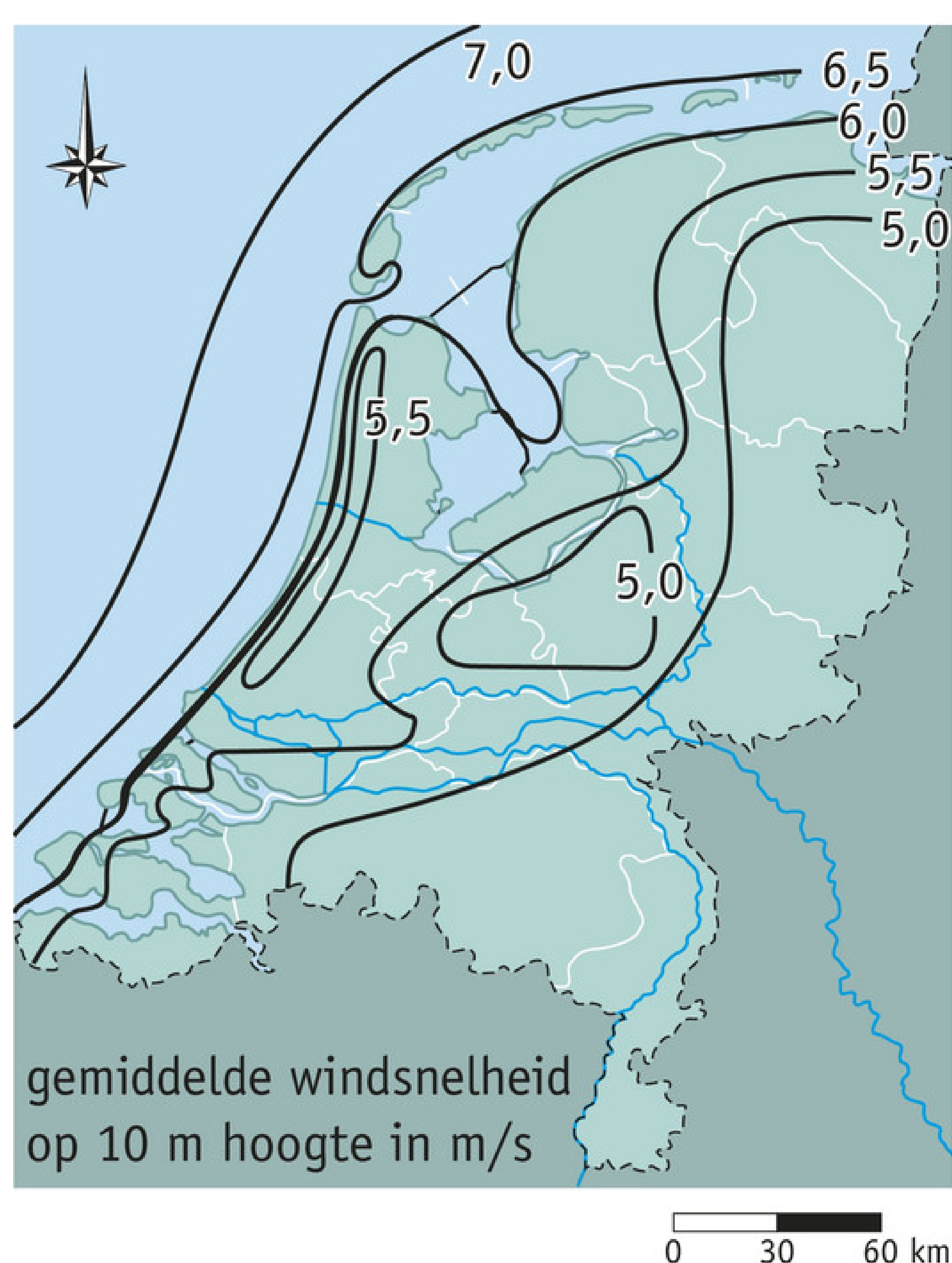
5 Nederland ligt aan de Noordzee. De gemiddelde windsnelheid is hier dan ook behoorlijk groot. Dat maakt Nederland geschikt om met windturbines elektrische energie op te wekken. In figuur 6 zijn gemiddelde windsnelheden gegeven. De lijnen in deze figuur verbinden plaatsen met dezelfde gemiddelde windsnelheid.

a Hoe komt het dat de gemiddelde windsnelheid in het binnenland kleiner is dan die in de kuststreek?

b Waarom worden er niet overal in de duinen windturbines neergezet, als de windsnelheid daar zo gunstig is?

c Er worden tegenwoordig ook windturbines geplaatst in de Noordzee, 10 km of meer uit de kust.
Welke voordelen zou dat hebben? Noteer er twee.

d Bedenk zelf ook een nadeel van het plaatsen van windturbines in zee.



figuur 6 Zo hard waait het gemiddeld in Nederland.

6 De energietransitie heeft vier belangrijke kenmerken.
Trek een lijn van elk kenmerk naar een voorbeeld dat bijdraagt aan een nieuw energiesysteem.

Voorbeeld		**Kenmerk**	
A	rijden in een elektrische auto ◯	◯ 1	energie lokaal produceren
B	minder lang douchen ◯	◯ 2	energie opslaan
C	met medebewoners uit het dorp een windturbine aanschaffen ◯	◯ 3	fossiele brandstoffen vervangen
D	accu's van elektrische auto's gebruiken om 's avonds de lampen in huis te laten branden ◯	◯ 4	gebruik van energie beperken

7 Door de energietransitie is het nodig om voorraden energie aan te leggen, om schommelingen in het aanbod op te kunnen vangen.

a Hoe en in welke vorm kun je een voorraad energie opslaan die een windturbine te veel produceert?

b Zoek op internet nog drie andere manieren om te veel geproduceerde energie op te slaan.

★ 8 Zoek op internet informatie over een van de volgende energiebronnen:
- aardgas
- aardwarmte
- biomassa
- getijden
- steenkool
- wind
- zon

Beschrijf in een kort werkstuk (maximaal twee pagina's A4):
- op welke manier(en) je de energiebron kunt benutten;
- welke voordelen de energiebron heeft;
- welke nadelen en beperkingen de energiebron heeft.

 **Test je kennis met de *Test jezelf*.**

PLUS DE WATERKRACHTCENTRALE

9 In een stuwmeer stroomt in één jaar $25 \cdot 10^{12}$ L water. De massa van 1,0 L is 1,0 kg. De waterspiegel ligt 35 m hoger dan de onderkant van de dam, waar de turbine zich bevindt.

a Bereken de hoeveelheid zwaarte-energie van het water dat in één jaar in het meer stroomt.

b Van deze hoeveelheid zwaarte-energie wordt uiteindelijk 80% omgezet in elektrische energie. De centrale is per jaar 250 volle dagen in bedrijf.
Bereken het gemiddelde elektrische vermogen dat de centrale levert als hij in gebruik is.

c Leg uit waarom een waterkrachtcentrale soms niet 365 dagen per jaar in gebruik kan zijn.

d Een waterkrachtcentrale heeft een aantal voordelen ten opzichte van een conventionele kolencentrale.
Noem twee voordelen van een waterkrachtcentrale ten opzichte van een kolencentrale.

★ 10 Een ingenieur onderzoekt hoe hoog de dam voor een nieuw te bouwen waterkrachtcentrale moet zijn. De centrale wordt gebouwd in een bergachtig gebied met een oppervlakte van $1{,}2 \cdot 10^6$ km^2 waarvan de jaarlijkse neerslag naar het stuwmeer stroomt. Er valt (gemiddeld) 1300 mm neerslag per vierkante meter per jaar, waarvan er 200 mm verdampt. Er verdwijnt geen water in de bodem.

a Bereken hoeveel kg water er (gemiddeld) in een jaar het stuwmeer in stroomt.

b Bereken de massa van het water die per seconde langs de generatoren van de centrale stroomt als de centrale continu in bedrijf is. Je mag ervan uitgaan dat de waterspiegel in het stuwmeer niet verandert.

c Om in de energiebehoefte in het gebied te voorzien is berekend dat er bij de waterkrachtcentrale per seconde $2{,}6 \cdot 10^{10}$ J aan zwaarte-energie moet worden omgezet.
Bereken de (minimale) hoogte die de waterspiegel van het stuwmeer ten opzichte van de onderkant van de stuwdam zal moet hebben.

2 Verwarmen

LEERDOELEN

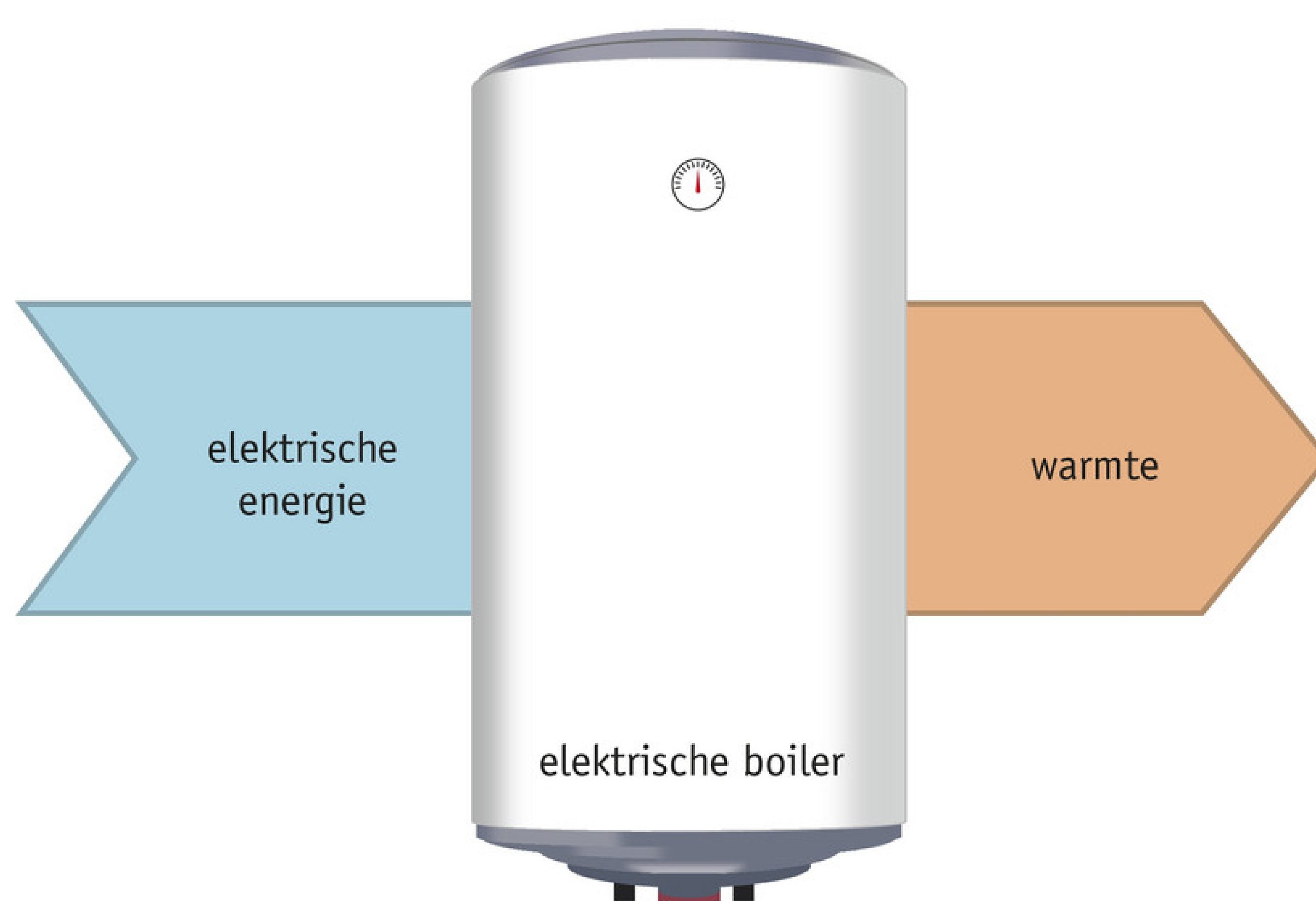
3.2.1 Je kunt energieomzettingen weergeven in een energiestroomdiagram waarbij de hoeveelheid energie voor en na de omzetting niet verandert.
3.2.2 Je kunt uitleggen dat de toevoer van warmte leidt tot een hogere temperatuur.
3.2.3 Je kunt door de soortelijke warmte te gebruiken berekenen hoeveel energie nodig is om een stof in temperatuur te laten stijgen.
PLUS 3.2.4 Je kunt het deeltjesmodel gebruiken bij het verklaren van verdamping en condensatie.

Mensen hebben warmte nodig om hun huis te verwarmen, water heet te maken en voedsel te bereiden. Daarvoor gebruiken ze allerlei warmtebronnen, zoals cv-ketels, ovens, boilers en kokendwaterkranen. Veel van die warmtebronnen werken op elektrische energie. Andere maken gebruik van de chemische energie in aardgas. Maar als de energietransitie doorzet, zullen dat er steeds minder worden.

WARMTEBRONNEN

Als je in huis rondkijkt, kom je daar verschillende **warmtebronnen** tegen. Een cv-ketel of warmtepomp levert de warmte waarmee het huis wordt verwarmd. Voorbeelden van andere warmtebronnen zijn een kookplaat, een oven, een waterkoker, een soldeerapparaat, een föhn en een wasdroger.

In een elektrische boiler zit een verwarmingselement. Door het verwarmingselement loopt een elektrische stroom die ervoor zorgt dat het verwarmingselement warm wordt. Daarbij wordt **elektrische energie** omgezet in **warmte**. Zo'n **energieomzetting** kun je weergeven in een **energiestroomdiagram**, zoals in figuur 1 is getekend. De pijl links stelt de energie voor die de warmtebron opneemt (verbruikt). De pijl rechts stelt de energie voor die de warmtebron afstaat (levert).



figuur 1 Het energiestroomdiagram van een elektrische boiler.

Natuurkundigen hebben ontdekt dat de hoeveelheid energie bij een energieomzetting niet verandert. Bepaalde soorten energie verdwijnen, andere soorten energie komen daarvoor in de plaats, maar de totale hoeveelheid energie blijft steeds even groot. Daarom zijn de pijlen in een energiestroomdiagram links en rechts even hoog: dat geeft aan dat er in totaal niets bijkomt en niets afgaat.

WARMTE EN TEMPERATUUR

De meeste warmtebronnen die je thuis tegenkomt werken op elektrische energie. Denk aan een waterkoker waarmee je water aan de kook brengt voor een kop thee (figuur 2). De elektrische energie die zo'n warmtebron verbruikt wordt helemaal omgezet in warmte: voor elke joule verbruikte elektrische energie krijg je een joule warmte terug.



figuur 2 Water verwarmen voor een kop thee.

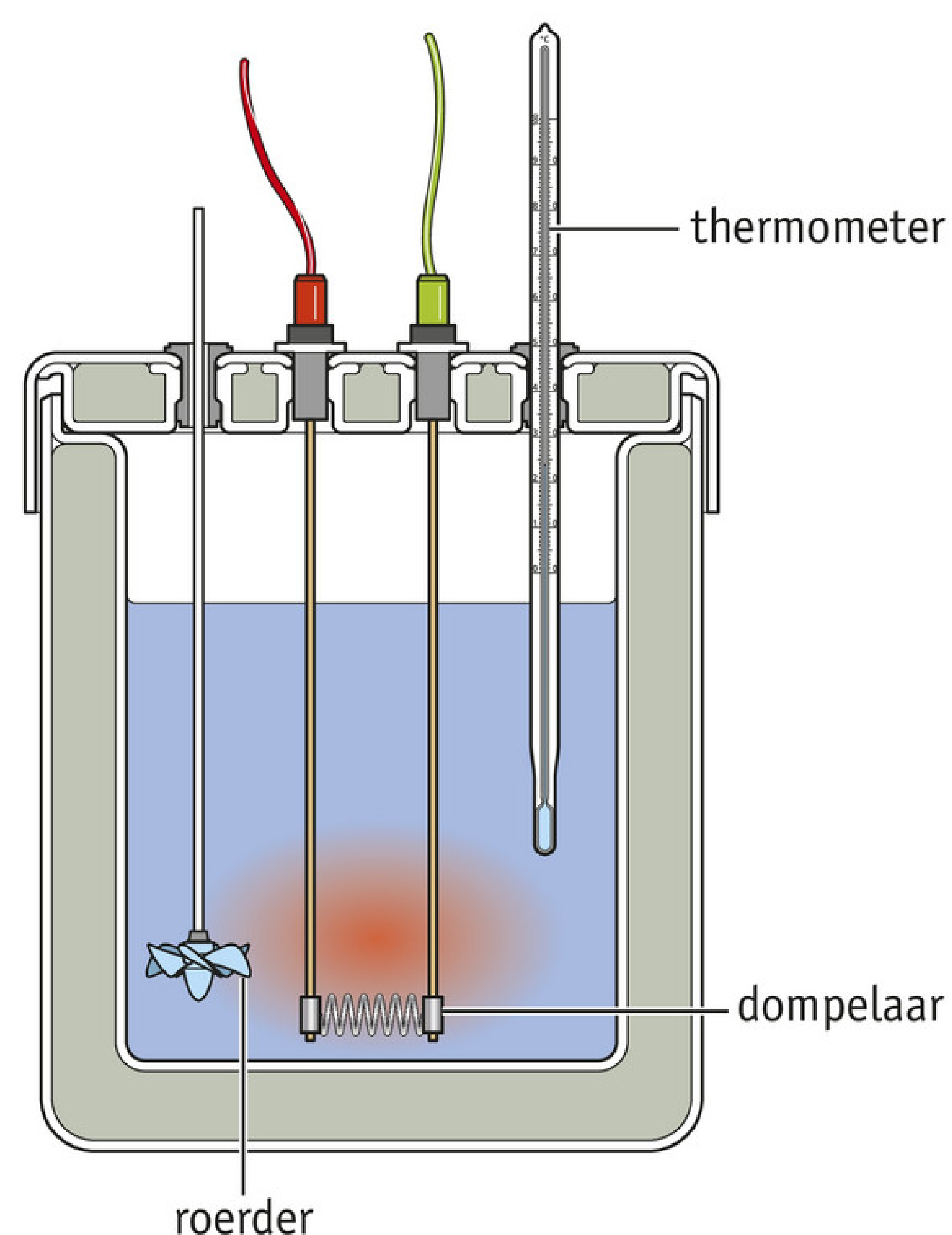
Als je water in een waterkoker verwarmt, stijgt de temperatuur van het water in enkele minuten van circa 20 °C naar 100 °C. Dat de temperatuur stijgt, betekent dat de gemiddelde snelheid van de watermoleculen toeneemt. De temperatuur is dus een maat voor de gemiddelde snelheid van de moleculen van een stof. De warmte die het water opneemt wordt gebruikt om de watermoleculen sneller te laten bewegen. Je zegt dan dat de watermoleculen meer bewegingsenergie hebben.

Als het water een temperatuur van 100 °C bereikt, begint het te koken. De warmte die het water opneemt, wordt dan gebruikt om de moleculen bij elkaar vandaan te laten bewegen. Daardoor ontstaan er overal in de vloeistof bellen met waterdamp. De temperatuur van het water stijgt dan niet meer en blijft 100 °C. De waterkoker schakelt zichzelf dan automatisch uit.

Hoe meer water je in een waterkoker doet, hoe langer het duurt voordat het water kookt. Dat komt doordat er dan meer watermoleculen zijn, waarvan de gemiddelde snelheid moet worden verhoogd. Er is dus meer warmte (energie) nodig en dat betekent dat de waterkoker – die een constant vermogen heeft – langer aan het verwarmen is.

PROEVEN MET EEN CALORIMETER

Met een **calorimeter** kun je meten hoeveel warmte nodig is voor het verwarmen van een bepaalde hoeveelheid water. In figuur 3 zie je zo'n meter in dwarsdoorsnede. Het water in het bakje wordt verwarmd met een dompelaar: een verwarmingselement dat elektrische energie omzet in warmte. Omdat het bakje goed is geïsoleerd, wordt vrijwel alle geproduceerde warmte door het water opgenomen.



figuur 3 Een calorimeter in doorsnede.

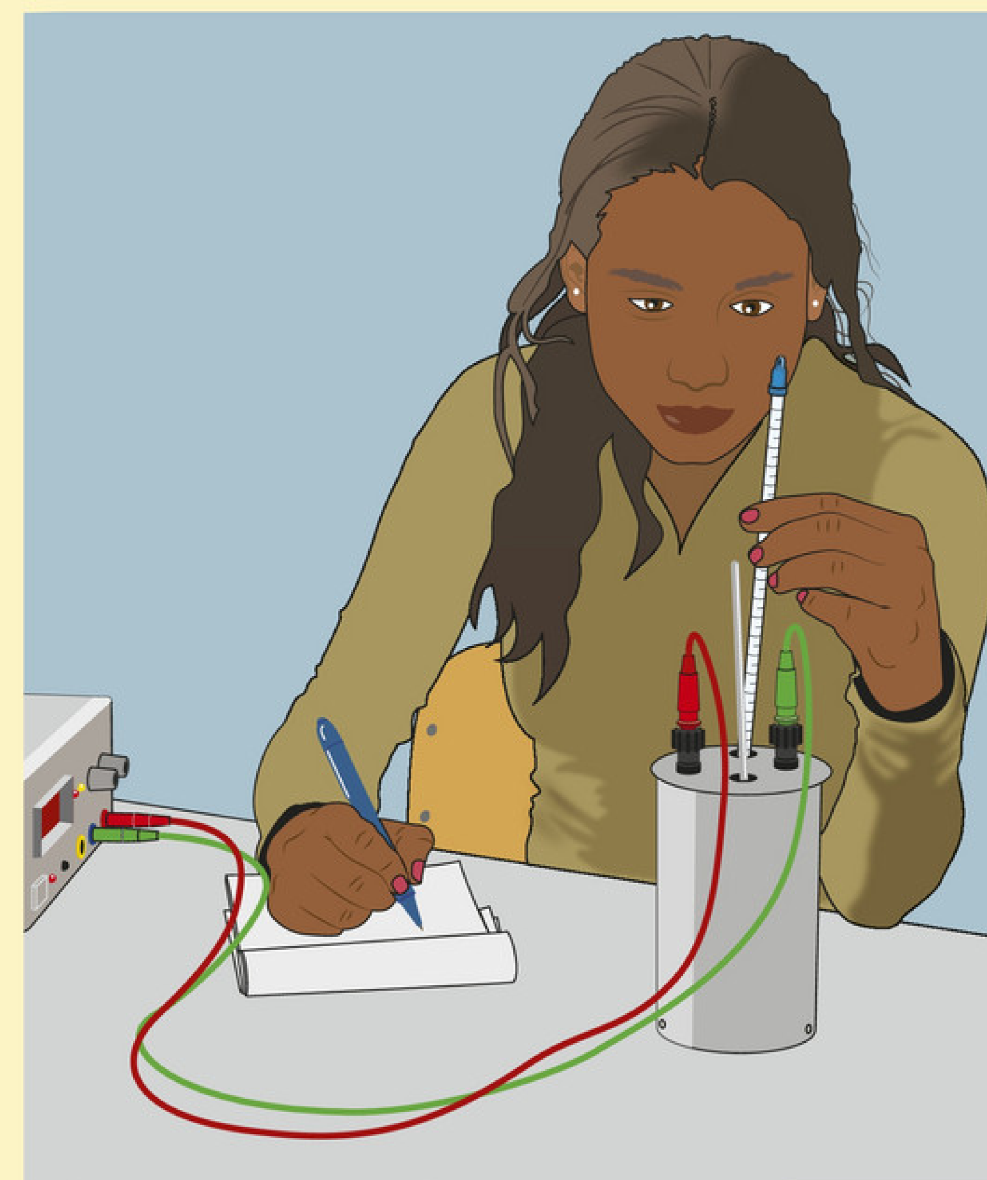
VOORBEELDOPDRACHT 1

Anouck doet 100 gram water in een calorimeter en verwarmt het met een dompelaar van 12 W (figuur 4). Na 12 minuten is de temperatuur van het water gestegen van 18 °C naar 38 °C.
Bereken hoeveel warmte de dompelaar heeft geproduceerd.

gegevens t = 12 min = 720 s
P = 12 W

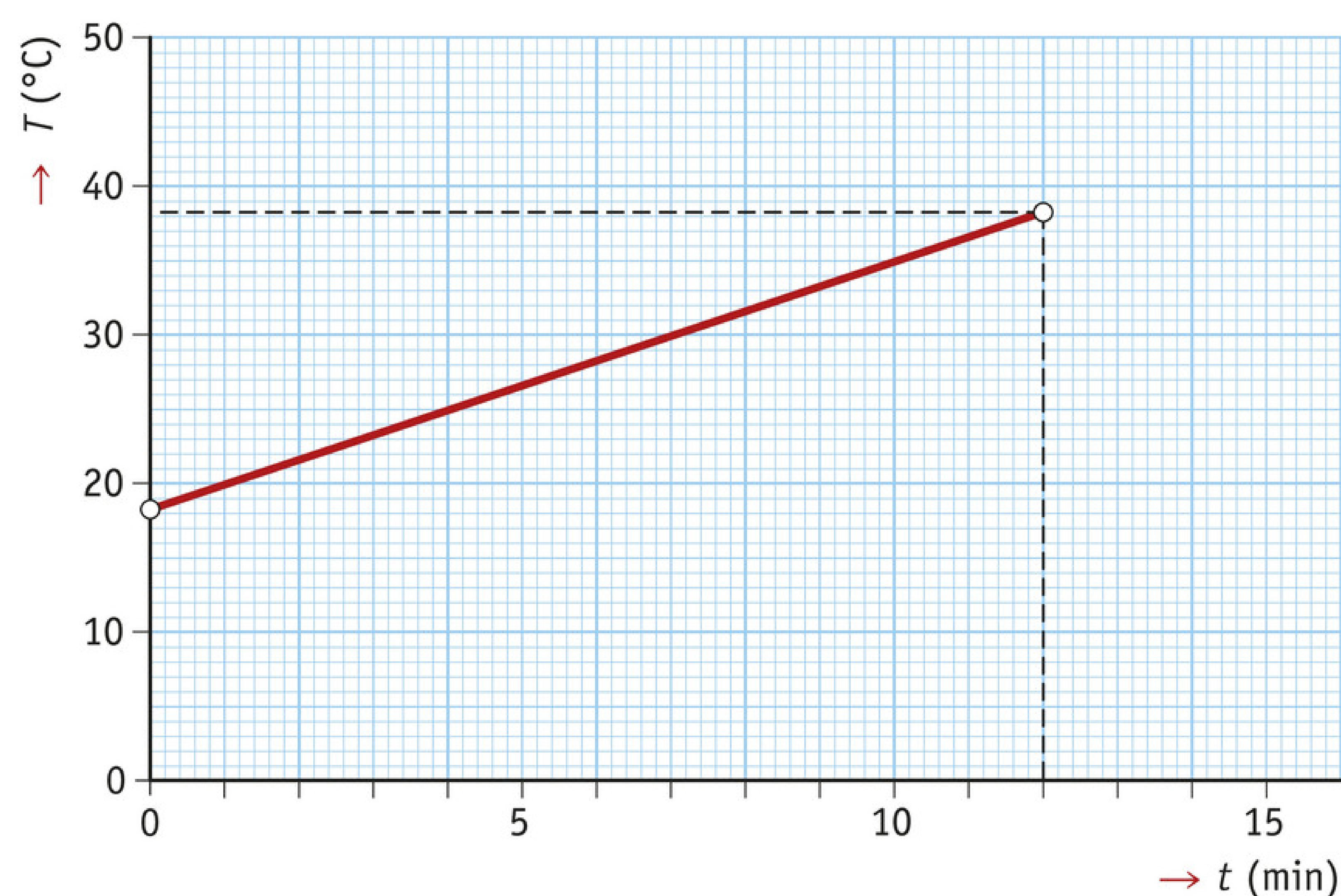
gevraagd E = ?

uitwerking $E = P \cdot t = 12 \times 720 = 8640$ J = 8,6 kJ



figuur 4 Anouck doet een proef met een calorimeter.

In voorbeeldopdracht 1 meet Anouck dat er ongeveer 8,6 kJ nodig is om het water 20 °C warmer te maken. In werkelijkheid is die waarde iets te hoog, omdat er ook een beetje warmte naar buiten 'lekt'. Uit nauwkeurige proeven blijkt dat 4,2 J warmte nodig is om 1 gram water 1 °C in temperatuur te laten stijgen. Het maakt daarbij niet uit of de temperatuur stijgt van 20 °C naar 21 °C of van 35 °C naar 36 °C (figuur 5).



figuur 5 Tijdens het verwarmen stijgt de temperatuur regelmatig: voor elke graad temperatuurstijging is evenveel warmte nodig.

De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen, noem je de **soortelijke warmte** van die stof. De soortelijke warmte van water is 4,2 J/(g °C). Als symbool voor soortelijke warmte wordt de letter c gebruikt. Je kunt de vorige zin dus ook als volgt schrijven: c_{water} = 4,2 J/(g °C). De soortelijke warmte is een stofeigenschap; elke stof heeft zijn eigen soortelijke warmte.

REKENEN MET SOORTELIJKE WARMTE

PROEF 1

De hoeveelheid warmte die nodig is om een bepaalde hoeveelheid van een stof in temperatuur te verhogen kun je berekenen. Hiertoe vermenigvuldig je de soortelijke warmte van die stof met de massa die je wilt verwarmen en met de stijging in temperatuur.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Hierin is:
- Q de warmte in joule (J);
- c de soortelijke warmte in joule per gram en per graden Celsius (J/(g °C));
- m de massa in gram (g);
- $\Delta T = T_{eind} - T_{begin}$ de gewenste temperatuurstijging in graden Celsius (°C).

Soms is in plaats van de massa het volume van de te verwarmen stof gegeven. Je moet dan eerst met de formule voor de dichtheid berekenen wat de massa van de stof is. Voor water mag je zeggen: 1 L = 1 kg = $1 \cdot 10^3$ g.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Een kokendwaterkraan verwarmt 1,5 L water van 20 °C tot 100 °C.
Bereken hoeveel elektrische energie de kokendwaterkraan daarbij moet omzetten. Ga ervan uit dat alle elektrische energie wordt gebruikt om het water te verwarmen.

De massa van 1,5 L water is afgerond $1{,}5 \cdot 10^3$ g.

gegevens $c = 4{,}2$ J/(g °C)
$m = 1{,}5 \cdot 10^3$ g
$\Delta T = T_{eind} - T_{begin} = 100 - 20 = 80$ °C

gevraagd $Q = ?$

uitwerking $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4{,}2 \times 1{,}5 \cdot 10^3 \times 80 = 504$ kJ $= 5{,}0 \cdot 10^5$ J

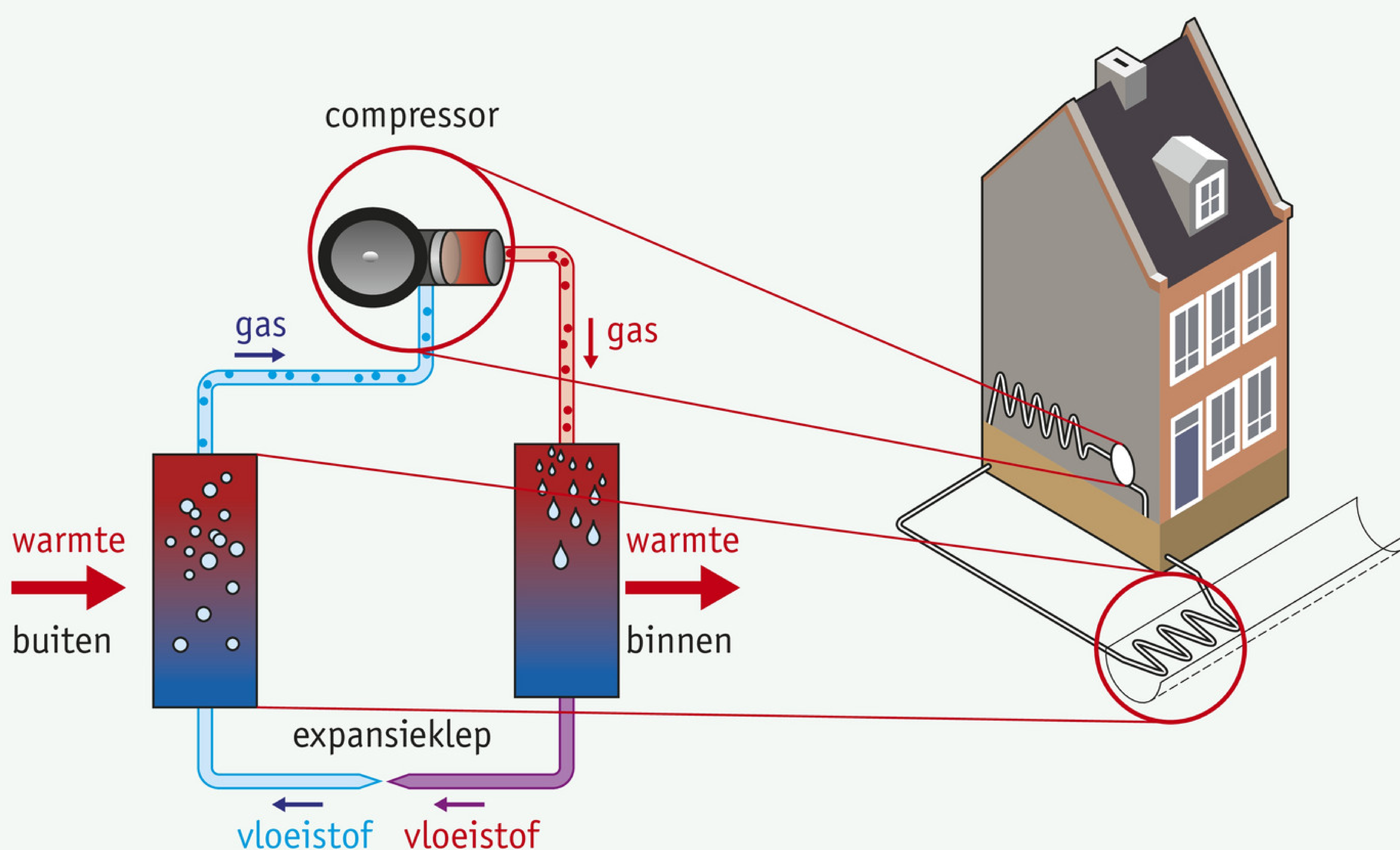
PLUS DE WARMTEPOMP

In een auto wordt de motor met water gekoeld. De temperatuur van de motor is hierbij veel hoger dan de temperatuur van het koelwater. De warmte stroomt dan ‘vanzelf’ van de hete motor naar het koude water.

Een warmtepomp is een apparaat dat juist het omgekeerde kan doen: het kan warmte van een plek met een lage temperatuur naar een omgeving met een hogere temperatuur laten gaan. In een koelkast en een airco zit een warmtepomp.

In figuur 6 zie je een schematische voorstelling van een warmtepomp die een huis in de winter verwarmt. In de buizen zit een vloeistof, bijvoorbeeld ammoniak. Omdat deze vloeistof een heel laag kookpunt heeft, verdampt de ammoniak in het buizenstelsel buitenshuis. Deze energie wordt gebruikt om de afstand tussen de ammoniakmoleculen (die elkaar aantrekken volgens het deeltjesmodel) groter te maken. Een zogeheten compressor pompt het koelmiddel rond en perst de ammoniakdamp samen, waardoor deze condenseert. Hierbij komt de warmte weer vrij die de ammoniak buiten heeft opgenomen. Deze warmte kun je gebruiken om je kamer te verwarmen.

Na het passeren van de expansieklep is de ammoniak voldoende afgekoeld voor een nieuwe ronde door het buizenstelsel.
In de zomer kun je met de pomp je huis koelen door het hele proces om te draaien.



figuur 6 Zo werkt de warmtepomp.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Maak de volgende opdrachten.

a Kruis de twee energiesoorten aan waarop de warmtebronnen werken die je thuis gebruikt.
- ☐ A bewegingsenergie
- ☐ B chemische energie
- ☐ C elektrische energie
- ☐ D stralingsenergie

b Geef aan welke energieomzetting plaatsvindt in de ketel van de centrale verwarming.

c Waarom zijn de pijlen in een energiestroomdiagram links en rechts even hoog?

d Wat wordt bedoeld met ‘de soortelijke warmte van water is 4,2 J/(g °C)’?

2 Bekijk de afbeelding van de calorimeter in figuur 3.

a Beschrijf op welke manier het water in een calorimeter wordt verwarmd.

b Beschrijf hoe wordt voorkomen dat er warmte uit de calorimeter weglekt.

c Beschrijf wat je moet doen om de warmte zo gelijkmatig mogelijk te verdelen.

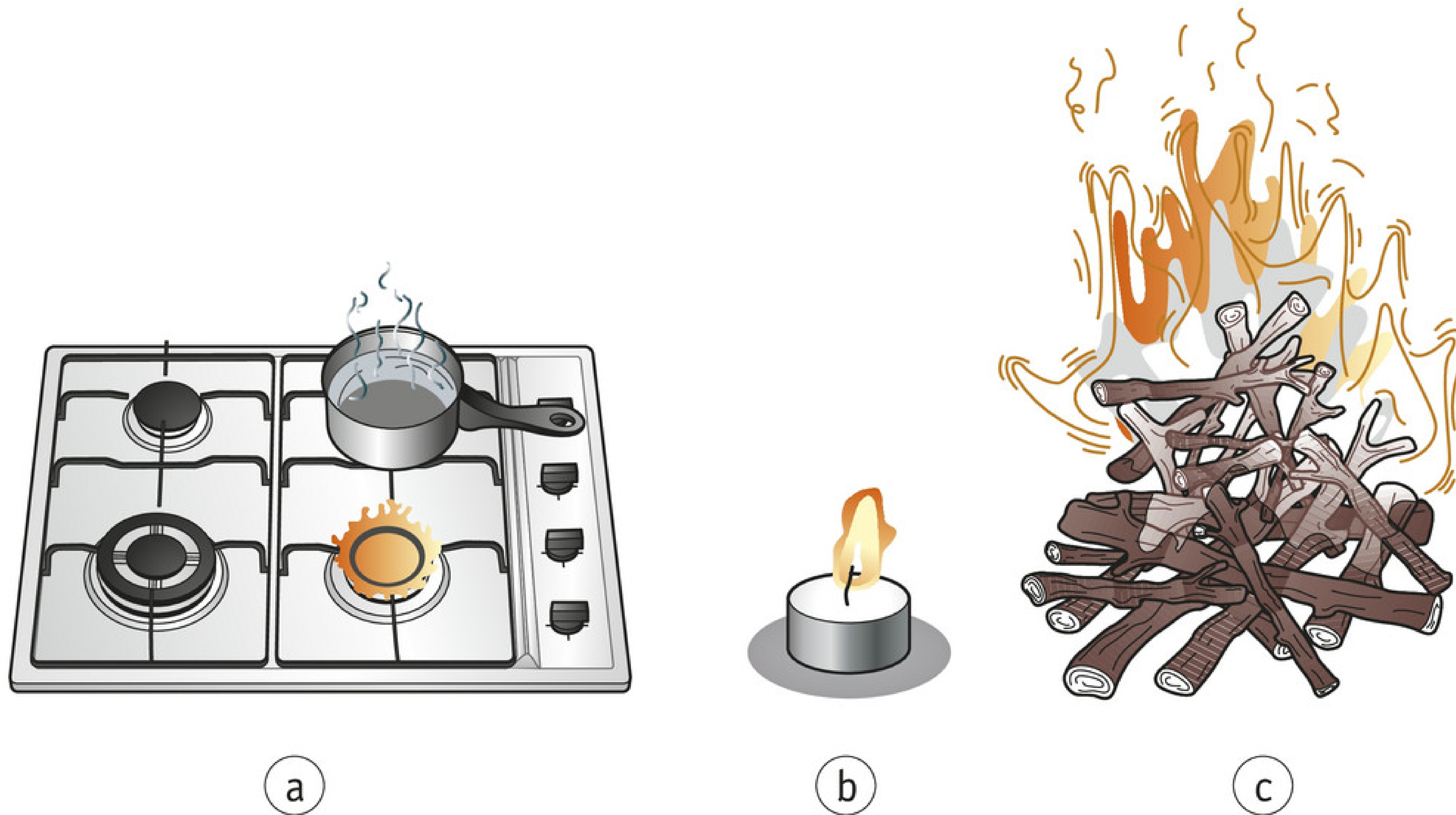
d Beschrijf hoe je de temperatuur van het water in de calorimeter kunt meten.

TOEPASSING

3 In figuur 7 zie je drie warmtebronnen.

a Schrijf van elke warmtebron op welke brandstof erin wordt verbrand.

b Hoe heet de vorm van energie die deze warmtebronnen verbruiken?



figuur 7 Drie warmtebronnen.

4 Bekijk de waterkoker in figuur 8.

a Teken in figuur 8 een energiestroomdiagram.

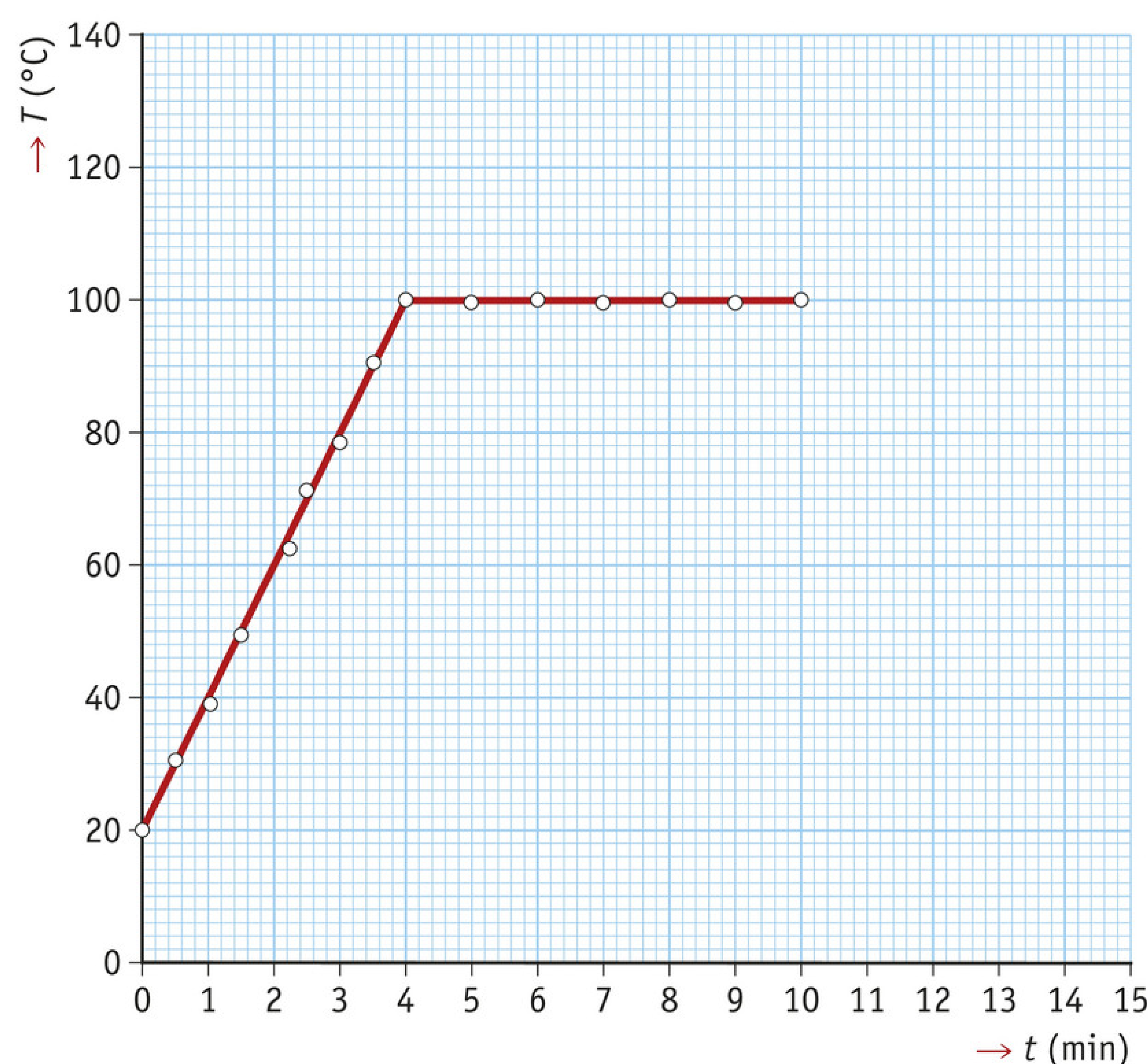
b Schrijf in de pijlen van het energiestroomdiagram hoe de energiesoort heet:

- die de waterkoker opneemt;
- die de waterkoker afgeeft.



figuur 8 Het energiestroomdiagram van een waterkoker.

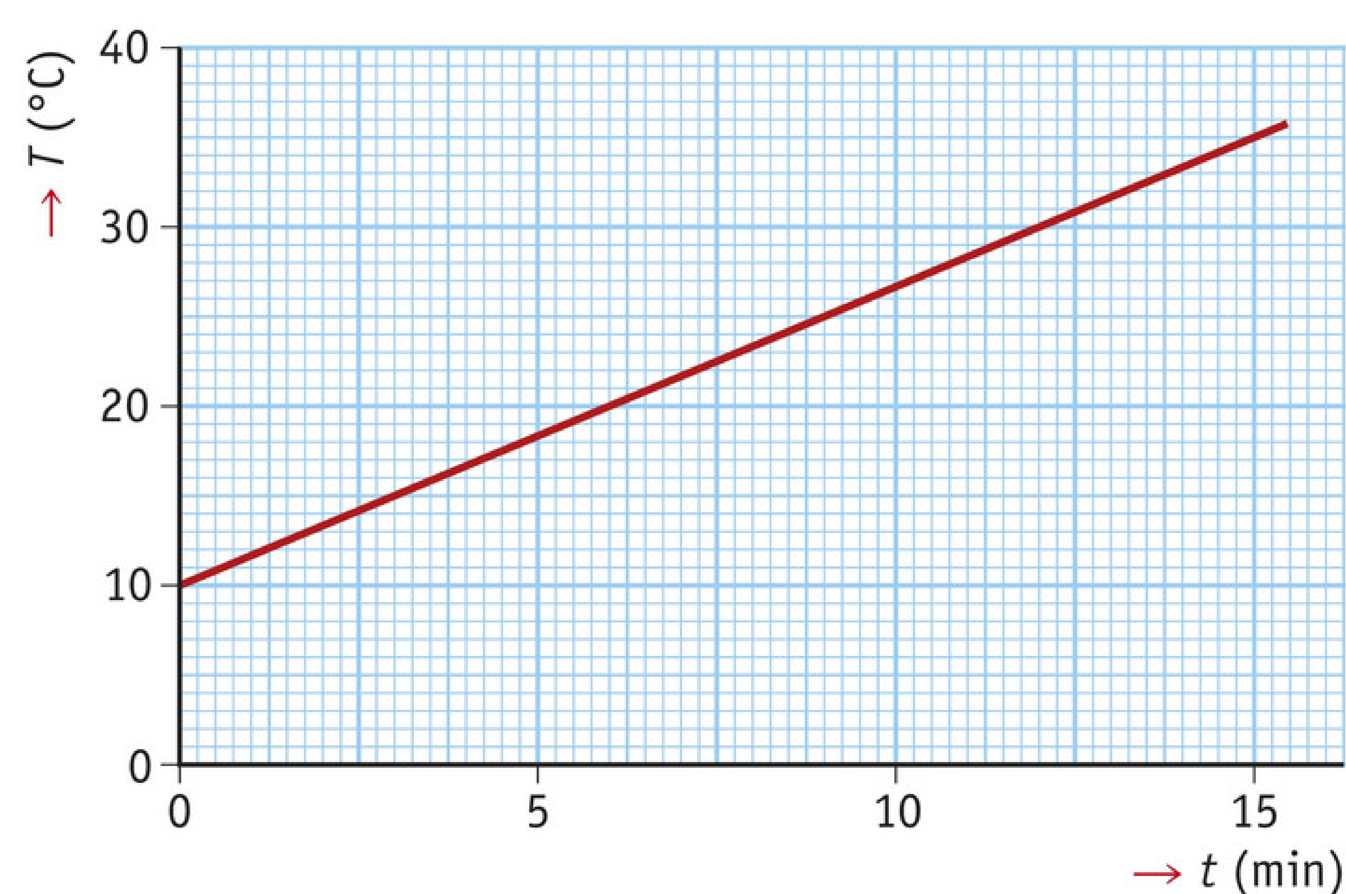
5 Epke verwarmt 100 mL water met een brander. Om de 30 s meet hij de temperatuur. In het diagram in figuur 9 is een grafiek van zijn meetresultaten afgedrukt.
Daarna verwarmt Epke 150 mL water. De gasbrander brandt met een even grote en hete vlam als de eerste keer. Ook nu meet hij om de 30 s de temperatuur.
Hoelang duurt het opwarmen tot het kookpunt nu? Schets in figuur 9 de grafiek van deze proef met 150 mL water.



figuur 9 De proef van Epke.

6 Leontien heeft 150 g water verwarmd in een calorimeter. In figuur 10 zie je de grafiek die ze van haar proef heeft gemaakt.

a Zie de vaardigheid *Werken met machten van 10*.
Bereken hoeveel warmte het water in 15 minuten opneemt.



figuur 10 De grafiek van Leontien.


Meer oefening nodig met *Rekenen met soortelijke warmte*? Ga naar de *Vaardigheidstrainer*.

b Bereken het vermogen van het verwarmingselement.

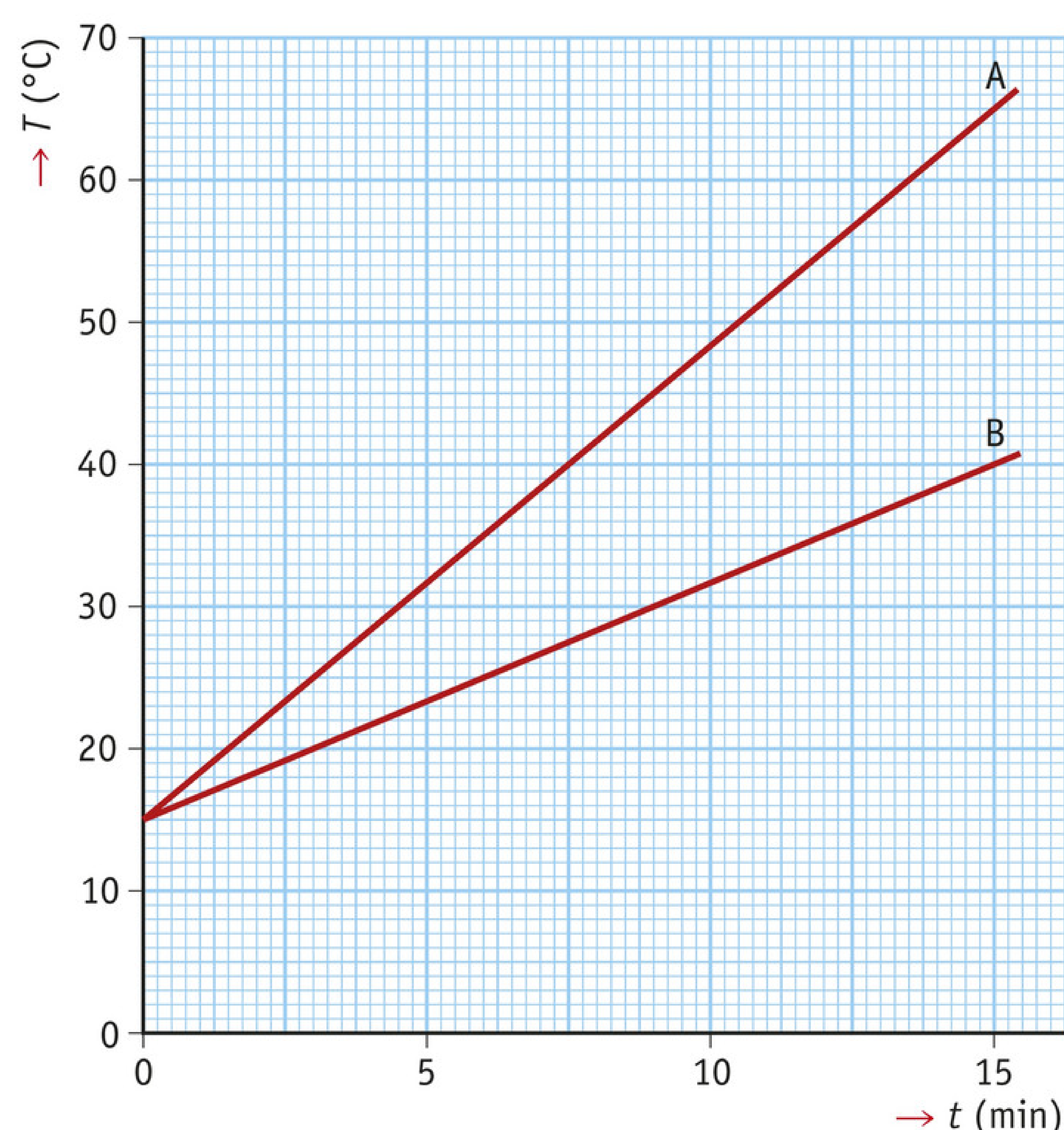
c Je uitkomst bij opdracht b zal iets te laag zijn, vergeleken met het werkelijke vermogen.
Waaraan ligt dat?

7 Jos heeft eerst 100 g van vloeistof A in een calorimeter verwarmd en daarna 100 g van vloeistof B. Hij heeft in beide gevallen hetzelfde verwarmingselement van 12 W gebruikt. In figuur 11 zie je de grafieken die hij van de twee proeven heeft gemaakt.

a Welke vloeistof heeft de grootste soortelijke warmte? Waaraan zie je dat?

b Welke van deze twee vloeistoffen zou water kunnen zijn? Licht je antwoord toe met een berekening.

- ○ A vloeistof A
- ○ B vloeistof B
- ○ C geen van beide vloeistoffen
- ○ D beide vloeistoffen



figuur 11 De grafieken van Jos.

★ 8 Joan vult de waterkoker in figuur 12 helemaal met water van 20 °C. Daarna zet ze het apparaat aan.
Bereken hoelang het minstens duurt voordat het water kookt. Geef je antwoord in minuten.



Elektrische waterkoker

- inhoud 1,7 liter
- 2200 W
- afneembare kan
- droogkookbeveiliging
- waterpeilindicator
- fraai design
- twee jaar garantie

figuur 12 Een snelkoker of een langzaamkoker?



Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS DE WARMTEPOMP

9 Het condenseren van ammoniak vindt plaats bij een hoge druk.

a Leg met het deeltjesmodel uit dat het condenseren dan gemakkelijker gaat.

b Het verdampen van de koelvloeistof in de warmtepomp vindt plaats bij een lage druk. Leg met het deeltjesmodel uit dat het verdampen sneller kan gaan als de druk laag is.

c Onderstreep de juiste woorden en licht je antwoord toe.
Als een gas condenseert *neemt het warmte op / komt er warmte vrij* en *stijgt de temperatuur / blijft de temperatuur gelijk / daalt de temperatuur.*
Als een vloeistof verdampt, *neemt hij warmte op / komt er warmte vrij* en *stijgt de temperatuur / blijft de temperatuur gelijk / daalt de temperatuur.*

d Een warmtepomp die de warmte onttrekt aan de buitenlucht kan een huis ook op koude winterdagen verwarmen. Zelfs als het buiten −18 °C is, kan de pomp warmte uit de buitenlucht opnemen. Leg met het deeltjesmodel uit dat ook koude lucht van −18 °C warmte bevat.

10 In het huis in figuur 6 stroomt per seconde 12 L water uit een beekje langs de buizen buiten de woning. De begintemperatuur van het water is 6,3 °C. De verdampende ammoniak neemt hierbij per seconde 21 kJ warmte van het water op.

a Bereken de temperatuur van het water nadat het langs het buizenstelsel is gestroomd. Voor de berekening mag je ervan uitgaan dat 1,0 L water een massa heeft van 1,0 kg.

b Bij het condenseren van de ammoniakdamp komt per seconde in totaal 21 kJ warmte vrij. Deze warmte wordt in de woning afgestaan. Het elektrisch vermogen van de compressor, die binnenshuis staat, is 7,0 kW. Je mag ervan uitgaan dat de elektrische energie die de compressor verbruikt uiteindelijk helemaal als warmte aan de woning wordt afgegeven.
Warmtepompen worden vaak vergeleken op basis van hun *Coefficient of Performance* of kortweg COP. De COP is de verhouding tussen de totale hoeveelheid afgegeven warmte en de verbruikte elektrische energie.
Bereken de COP van de warmtepomp.

c Hoe groot is de COP van een elektrische straalkachel?

d Leg uit welk groot voordeel deze warmtepomp heeft, vergeleken met een straalkachel met hetzelfde elektrische vermogen.

3 Isoleren

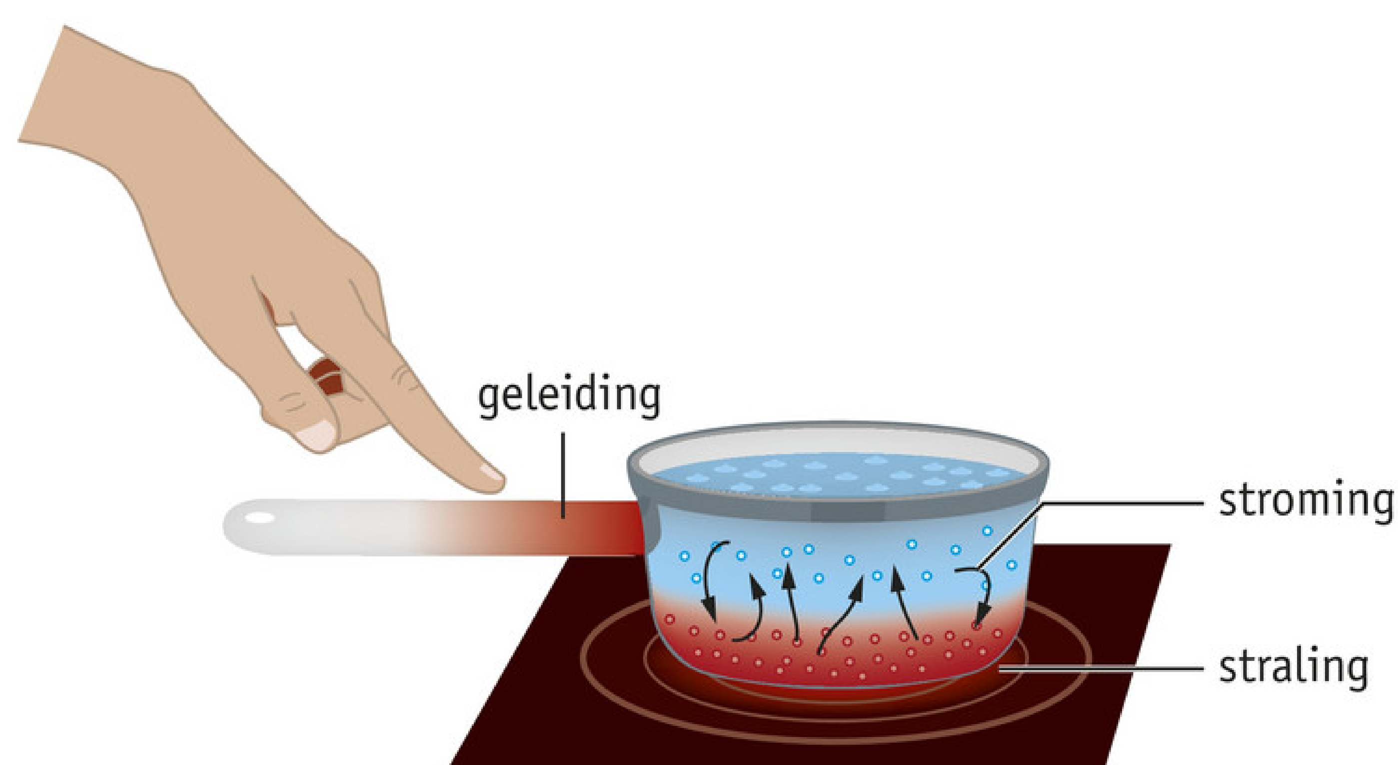
LEERDOELEN

3.3.1 Je kunt uitleggen op welke manieren een huis warmte verliest.
3.3.2 Je kunt uitleggen hoe je het warmteverlies in een huis kunt verkleinen.
3.3.3 Je kunt manieren van isolatie van een gebouw benoemen.
3.3.4 Je kunt berekeningen over isolatie van gebouwen maken.
PLUS 3.3.5 Je kunt de warmtestroom door (geïsoleerde) muren berekenen.

Als je een huis isoleert, verminder je het verbruik van energie. De isolatie van muren, daken en ramen zorgt ervoor dat minder warmte uit het gebouw ontsnapt. Dat is goed voor je portemonnee en het helpt bij het bereiken van de doelen van de energietransitie.

WARMTEVERLIES

Als de temperatuur in huis hoger is dan de temperatuur buiten, verliest het huis voortdurend warmte aan de omgeving. Dat gaat snel als het waait, doordat de wind de warme lucht in en rond het huis meeneemt. Maar zelfs als het helemaal windstil is, lekt er voortdurend warmte weg. Dat gebeurt op drie manieren: door **geleiding**, door **stroming** en door **straling** (figuur 1).



figuur 1 Geleiding, stroming en straling in de keuken.

Geleiding

Bij geleiding verspreidt de warmte zich door een stof, zoals baksteen of glas. Dat komt doordat de moleculen in de stof onophoudelijk met elkaar botsen. Daarbij geven ze hun bewegingsenergie aan elkaar door. Zo verspreidt de warmte zich van de plaats waar de temperatuur het hoogst is naar waar de temperatuur lager is. Metalen geleiden warmte goed; hout en kunststof geleiden warmte slecht.

Stroming

Als je een vloeistof of een gas verwarmt, kan er een stroming (convectie) ontstaan. Dat zie je bijvoorbeeld bij de lucht in huis. De lucht bij de radiatoren krijgt een hogere temperatuur, zet uit en krijgt zo een kleinere dichtheid. De verwarmde lucht stijgt daardoor op en neemt de warmte met zich mee. Verderop koelt de lucht af en daalt weer.

Straling
Alles om je heen – en ook je eigen lichaam – zendt straling uit: kleine pakketjes stralingsenergie verplaatsen zich naar de omgeving. Hoe hoger de temperatuur van een voorwerp, hoe meer stralingsenergie het voorwerp uitzendt. Een warm huis raakt daardoor in de winter meer warmte kwijt dan het terugkrijgt van de koudere omgeving (figuur 2).

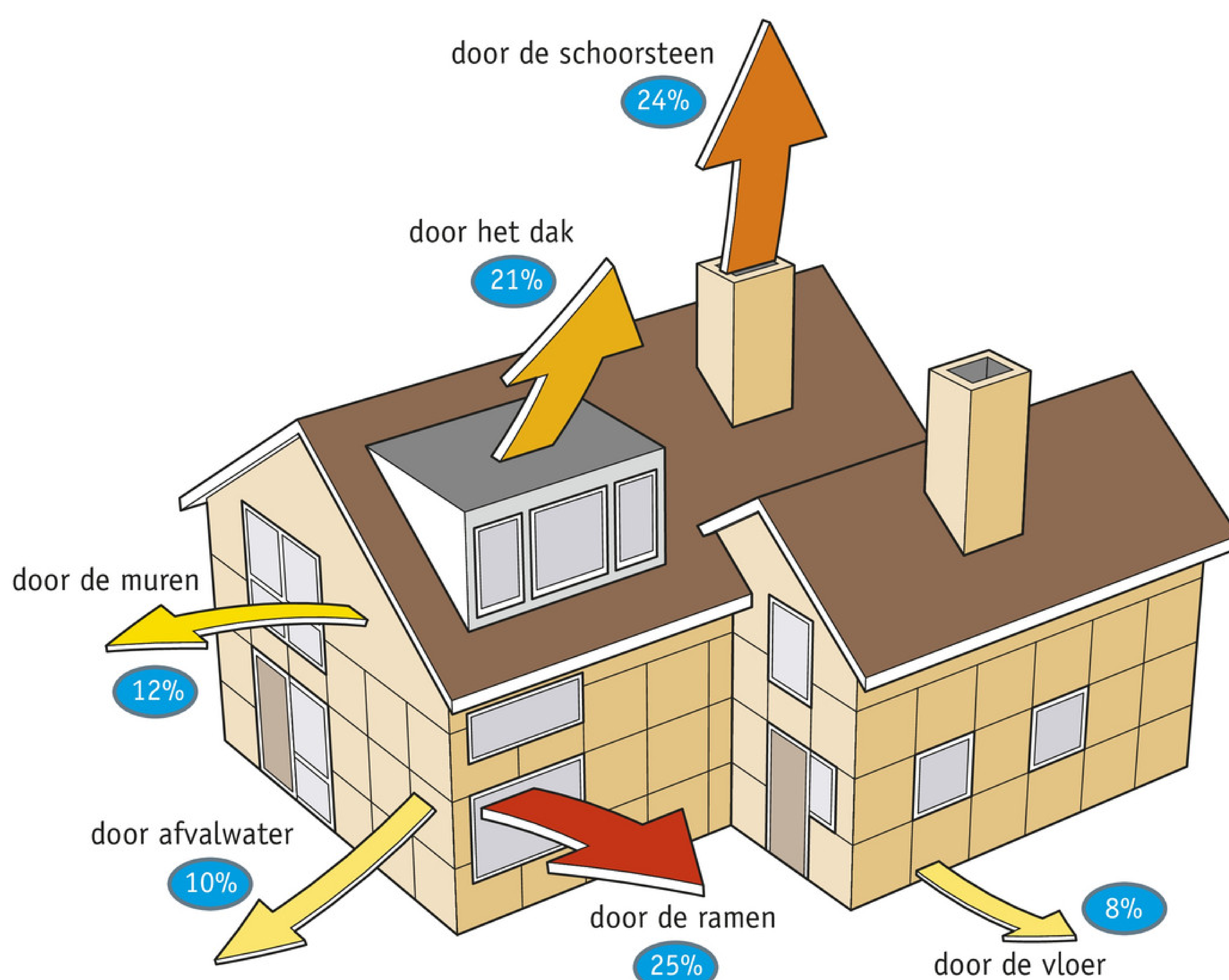


figuur 2 Een thermogram maakt de infrarode straling zichtbaar die een huis uitstraalt.

Geleiding, stroming en straling zijn heel verschillende processen. Alle drie hebben ze wel hetzelfde effect: warmte verspreidt zich van de plaats met de hoogste temperatuur naar plaatsen met een lagere temperatuur. Het gevolg is dat voorwerpen met een hoge temperatuur voortdurend warmte verliezen. In de praktijk ben je die warmte dan kwijt: de energie heeft zich over zo'n groot gebied verspreid dat je er voor praktische doeleinden niets meer aan hebt.

HET WARMTEVERLIES BEPERKEN

De warmte die uit een woonhuis naar buiten verdwijnt, moet meteen weer worden aangevuld (figuur 3). Anders daalt de temperatuur in huis steeds verder, totdat het binnen even koud is als buiten. Daarom moet een warmtebron bij koud weer voortdurend warmte leveren om de temperatuur in huis op peil te houden.



figuur 3 Het warmteverlies van een matig geïsoleerde woning.

Als een huis niet goed is geïsoleerd, zal er veel warmte naar buiten verdwijnen. De warmtebron moet dan behoorlijk veel energie in warmte omzetten om de verloren gegane warmte weer aan te vullen. Je kunt het warmteverlies tegengaan door het huis te **isoleren**. De warmtebron hoeft dan minder warmte te leveren om voor een aangename temperatuur te zorgen.

HET WARMTETRANSPORT DOOR EEN MUUR

De muren van een huis worden vaak van baksteen gemaakt. Dit bouwmateriaal is een vrij goede warmtegeleider. Dat betekent dat er door de muren van een huis vrij veel warmte naar buiten kan verdwijnen.

Hoeveel warmte er in een bepaalde tijd naar buiten verdwijnt, hangt af van:
- het temperatuurverschil tussen binnen en buiten: hoe kleiner dat temperatuurverschil is, des te minder warmte naar buiten verdwijnt;
- het materiaal waarvan de muur is gemaakt: hoe slechter dat geleidt, des te minder warmte naar buiten verdwijnt;
- de dikte van de muur: hoe dikker de muur, des te minder warmte naar buiten verdwijnt;
- de oppervlakte van de muur: hoe kleiner de oppervlakte, des te minder warmte naar buiten verdwijnt.

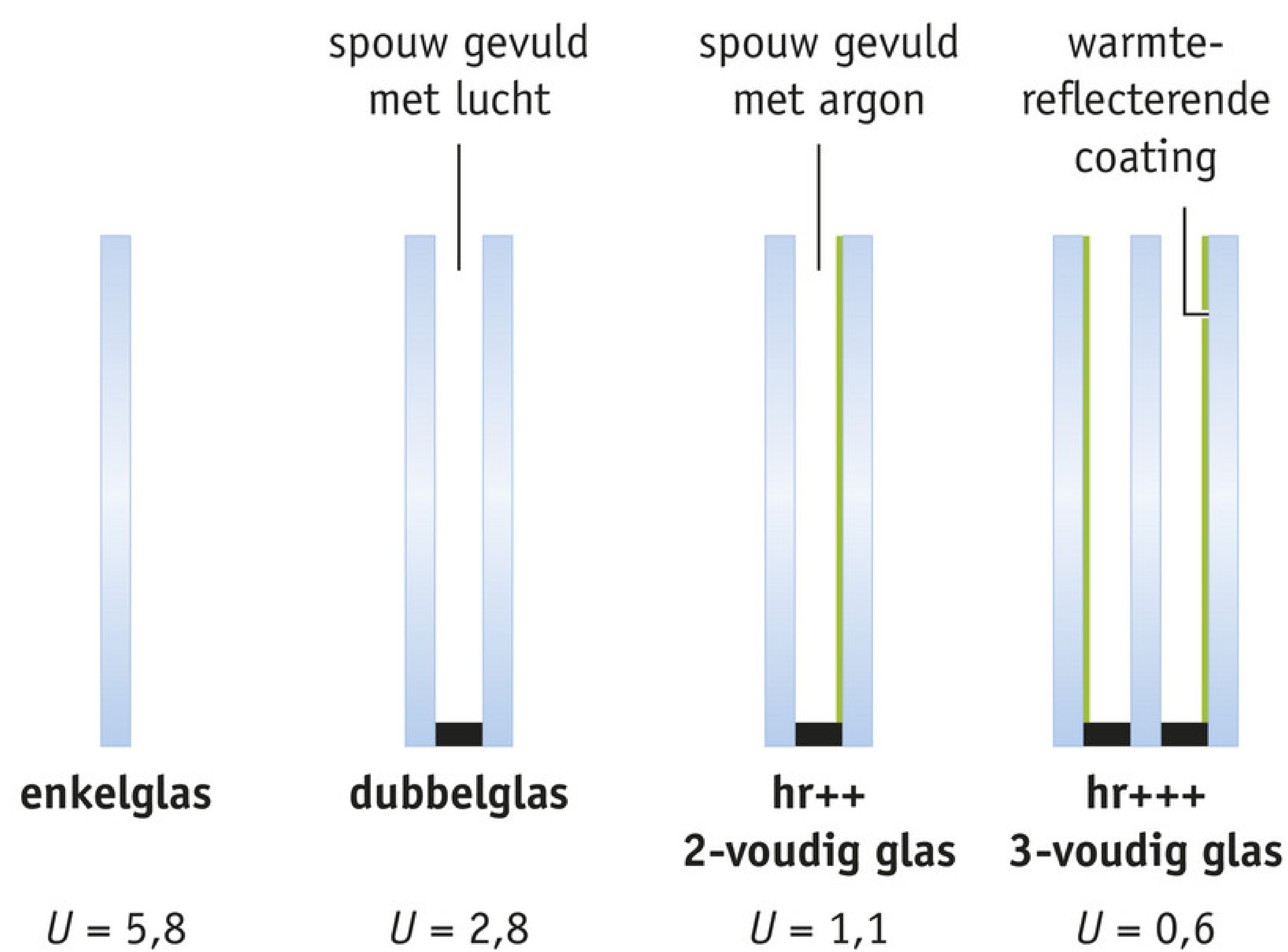
Om het warmteverlies tegen te gaan worden muren voorzien van een dikke laag isolatiemateriaal. Ook daken en vloeren worden vaak op deze manier geïsoleerd. Een 5 cm dikke laag isolatiemateriaal kan het warmteverlies door een muur vier keer zo klein maken. Isolatiematerialen zitten vol met kleine holten gevuld met lucht. Omdat lucht de warmte zeer slecht geleidt, neemt het warmteverlies sterk af (figuur 4).



figuur 4 Isolatiematerialen bestaan grotendeels uit lucht.

EEN HUIS ISOLEREN

Er zijn nog meer manieren om een huis beter te isoleren. Je kunt bijvoorbeeld:
- enkel- en dubbelglas dat de warmte gemakkelijk doorlaat vervangen door hr++ of hr+++ glas (figuur 5);
- de spouw (de ruimte tussen de binnenmuur en de buitenmuur) vullen met isolatiemateriaal;
- daken en vloeren isoleren met materialen zoals glas- en steenwol, polystyreen en luchtkussenfolie;
- verwarmingsleidingen en warmwaterleidingen isoleren op plaatsen waar ze door koude ruimten lopen, zoals een garage en een kelder;
- oppervlakken met een glanzende folie bedekken, zodat de warmte wordt teruggekaatst;
- kieren dichten met tochtstrip.



figuur 5 Enkelglas en dubbelglas, hr++ glas en hr+++ glas.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Ina leest in een folder dat je met het isoleren van cv-leidingen veel energie kunt besparen: ongeveer 10 m^3 aardgas per meter leiding per jaar.
1 m^3 aardgas levert $32 \cdot 10^6$ J warmte.
Ina isoleert 15 m cv-leiding in haar huis.
Hoeveel warmte bespaart ze daarmee per jaar?

gegevens 1 m leiding isoleren bespaart 10 m^3 aardgas per jaar.
1 m^3 aardgas levert $32 \cdot 10^6$ J warmte.

gevraagd de besparing aan warmte per jaar

uitwerking 15 meter leiding isoleren bespaart $15 \times 10 = 150$ m^3 aardgas per jaar.
Dat komt overeen met $150 \times 32 \cdot 10^6 = 4{,}8 \cdot 10^9$ J = 4,8 GJ warmte.

PLUS ENERGIENEUTRAAL WONEN

In een gemiddeld woonhuis wordt flink wat chemische en elektrische energie verbruikt. Dat merken de bewoners als ze de meterstanden voor de jaarlijkse energierekening opnemen. Verwarming van het huis maakt een groot deel van deze energierekening uit.

De overheid wil dat gebouwen in de toekomst **energieneutraal** zijn. Dat wil zeggen dat een gebouw over het hele jaar gerekend evenveel energie opwekt als verbruikt (figuur 6). Om het energieverbruik voor verwarming terug te dringen heeft de overheid onder andere regels opgesteld (bouwnormen) voor de isolatie van een woning. In deze bouwnormen kun je lezen hoeveel warmte er maximaal mag verdwijnen door de muren, het dak en de vloer van een nieuwbouwhuis (tabel 1).



figuur 6 Een energieneutraal huis. Door isolatie is het energiegebruik zo laag mogelijk. Het huis wekt de benodigde energie zelf op.

tabel 1 Bij een temperatuurverschil van 10 °C mag er maximaal zoveel warmte per seconde ontsnappen per m^2.

onderdeel	warmtestroom per m^2
vloeren	2,9 W/m^2
gevels / muren	2,2 W/m^2
daken	1,7 W/m^2

Aannemers en architecten moeten hiermee bij het bouwen van een huis rekening houden. De warmte die per seconde door bijvoorbeeld een buitenmuur verdwijnt bereken je met de formule voor de **warmtestroom**:

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

Hierin is:
- P de warmtestroom: de warmte die per seconde door de muur verdwijnt in watt (W);
- λ de warmtegeleidingscoëfficiënt in watt per meter en per graad Celsius: W/(m °C); een getal (stofeigenschap) dat aangeeft hoe goed of slecht de stof de warmte geleidt;
- A de oppervlakte van de muur in vierkante meter (m^2);
- ΔT het temperatuurverschil tussen binnen- en buitenkant van de muur in graden Celsius (°C);
- d de dikte van de muur in meter (m).

In computermodellen gebruiken technici deze formule om de juiste keuze te maken voor het materiaal en de dikte van de muren, zodat aan de bouwnormen kan worden voldaan.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Maak de volgende opdrachten.

a In welke richting verspreidt de warmte zich bij geleiding, stroming en straling? Let hierbij op de juiste natuurkundige bewoording.
- ○ A van de warmste plaats naar de koudste plaats
- ○ B van de koudste plaats naar de warmste plaats
- ○ C van de plaats met de hoogste temperatuur naar de plaats met de laagste temperatuur
- ○ D van de plaats met de laagste temperatuur naar de plaats met de hoogste temperatuur

b Hoe komt het dat je de warmte die een huis verliest niet kunt hergebruiken?

c Waarom moet een warmtebron in huis bij koud weer steeds opnieuw warmte leveren?

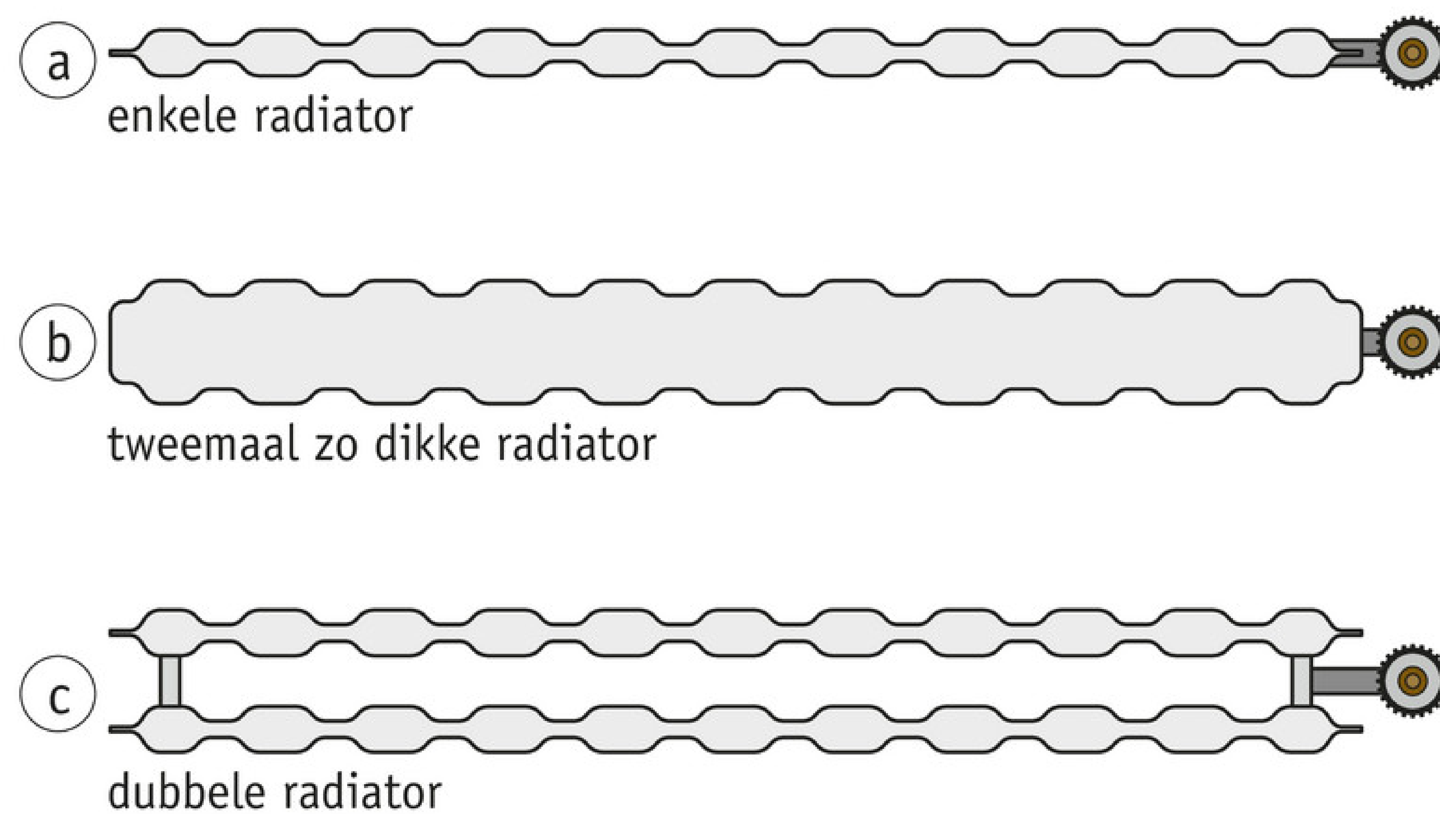
d Een isolatiemateriaal zoals piepschuim bestaat grotendeels uit lucht, want stilstaande lucht is een goede *isolator* / *geleider*.

2 De temperatuur in een kamer die door een kachel wordt verwarmd, blijft niet voortdurend stijgen.
Hoe komt het dat de temperatuur op een gegeven moment niet verder stijgt?

3 Door een muur verdwijnt warmte van binnen in een huis naar buiten.
Van welke vier factoren hangt het af hoeveel warmte per seconde naar buiten weglekt?

TOEPASSING

4 In figuur 7 zijn drie typen radiatoren getekend. De radiatoren zijn even lang en even hoog. Ze zijn gevuld met warm water van dezelfde temperatuur. De temperatuur in de omgeving van elk van de radiatoren is ook even hoog.
Leg uit welke radiator per minuut de meeste warmte zal afstaan.



figuur 7 Welke radiator maakt een vertrek het snelst warm?

5 Liefhebbers van natuurijs hebben een hekel aan sneeuw. Als er een dikke laag sneeuw op het ijs ligt, wordt de ijslaag nauwelijks dikker, ook al vriest het hard.
Leg uit waardoor het ijs ondanks de strenge vorst toch niet dikker wordt.

6 Sebastiaan heeft een huis met geïsoleerde spouwmuren gekocht. Toch vindt hij zijn energieverbruik nog veel te hoog. In een folder leest hij dat hij met voorzetwanden veel energie én geld kan besparen (figuur 8).

Voorzetwand op buitenmuur: prima idee!



Een goed geïsoleerde spouwmuur laat veel minder warmte door dan een lege spouwmuur. Het warmteverlies door zo'n geïsoleerde muur bedraagt 260 MJ (8,1 m^3 aardgas) per vierkante meter per jaar. De plaatsing van een voorzetwand tegen de buitenmuur geeft een nog lager warmteverlies, slechts 80 MJ per vierkante meter per jaar. Het is dus beslist aan te raden om een voorzetwand aan de buitenzijde van uw spouwmuren te plaatsen.
U kunt er honderden euro's per jaar mee besparen.

figuur 8 Een gedeelte uit een folder over spouwmuurisolatie.

a Hoeveel warmte verdwijnt volgens de folder per jaar door 1 m^2 van een geïsoleerde spouwmuur zonder voorzetwand?
b Hoeveel warmte verdwijnt volgens de folder per jaar door 1 m^2 van een geïsoleerde spouwmuur met voorzetwand?
c Sebastiaan besluit om voorzetwanden aan te laten brengen. In totaal laat hij 55 m^2 muuroppervlakte op deze manier isoleren.
Bereken hoeveel minder warmte daardoor per jaar uit zijn huis verdwijnt.
d Sebastiaans huis wordt verwarmd met aardgas.
Bereken hoeveel m^3 aardgas Sebastiaan voortaan per jaar bespaart.

e Bereken met hoeveel euro Sebastiaans jaarlijkse energierekening naar beneden gaat. 1,0 m^3 aardgas kost € 0,75.

f In de folder van figuur 8 staat dat je met spouwmuurisolatie 'honderden euro's per jaar kunt besparen'.
Ben jij het met deze uitspraak eens? Licht je antwoord toe.

★ 7

Suzanne heeft een oud huis gekocht met ruiten van enkelglas. Op een website leest ze dat er door enkelglas veel warmte verloren gaat (figuur 9).

a De ruiten van Suzannes huis hebben een totale oppervlakte van 14 m^2.
Reken uit hoeveel m^3 aardgas er per stookseizoen overeenkomt met de warmte die door de ramen verloren gaat.

b Suzanne besluit om het enkel glas overal te vervangen door hr++ glas.
Toon met een berekening aan dat Suzanne hierdoor 686 m^3 aardgas per stookseizoen bespaart.

c Hr++ glas kost € 120,- per m^2 (inclusief montage). Aardgas kost € 0,75 per m^3.
Bereken hoelang het duurt voordat Suzanne de kosten van het dubbelglas heeft terugverdiend. Ga ervan uit dat de gasprijs niet verandert.

U-waarde

De term '*U*-waarde' is een maat voor het warmteverlies van een constructie zoals een dak, raam of vloer. Er bestaat een vuistregel om met behulp van de *U*-waarden een schatting te maken van het aardgasverbruik. Die regel luidt als volgt:
Het aantal kubieke meter aardgas dat per stookseizoen naar buiten verdwijnt door één vierkante meter (dak, wand of raam), is gelijk aan 10 × U.

Enkele voorbeelden:
- raam met enkelglas: *U* = 6
- raam met dubbelglas: *U* = 2,8
- raam met hr++ glas: *U* = 1,1
- niet gevulde spouwmuur: *U* = 1,8
- gevulde spouwmuur: *U* = 0,8

figuur 9 Een website over de *U*-waarde van ramen en muren.

★ 8

Voor brandweerlieden zijn speciale beschermende pakken ontwikkeld waarmee ze desnoods dwars door vlammen kunnen lopen (figuur 10).

a De buitenkant van zo'n pak is van een glanzend materiaal gemaakt.
Leg uit waarom voor dit materiaal is gekozen.

b De binnenste laag van het pak bestaat uit een donsachtig materiaal dat veel lucht bevat.
Leg uit waarom voor dit materiaal is gekozen.



figuur 10 Twee brandweermannen in speciale beschermende pakken.

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS ENERGIENEUTRAAL WONEN

9

a Leg met behulp van de formule voor de warmtestroom uit of een goed isolerende stof een grote of juist een kleine warmtegeleidingscoëfficiënt heeft.

b Op een herfstdag is het buiten 14 °C. Leg met de formule voor de warmtestroom uit waarom je veel energie bespaart als je de thermostaat op 18 °C in plaats van op 22 °C zet.

c Voor de bouw van een nieuwe flat berekent de aannemer dat er in de winter te veel warmte (per seconde) zal verdwijnen door de betonnen buitenmuur. Hij besluit daarom de muren dikker te maken.
Onderstreep de juiste woorden en licht je antwoord toe.
De warmte die verdwijnt *wordt groter* / *blijft gelijk* / *wordt kleiner* als de dikte van de muur toeneemt.

d Onderstreep de juiste woorden en licht je antwoord toe.
De warmtegeleidingscoëfficiënt *wordt groter* / *blijft gelijk* / *wordt kleiner* als de dikte van de muur toeneemt.

e *Tiny houses* zijn woningen met minimale afmetingen, net groot genoeg om in te wonen. Ze worden op dit moment veel gebouwd.
Welk voordeel hebben *tiny houses* als je kijkt naar het warmteverlies door geleiding?

10

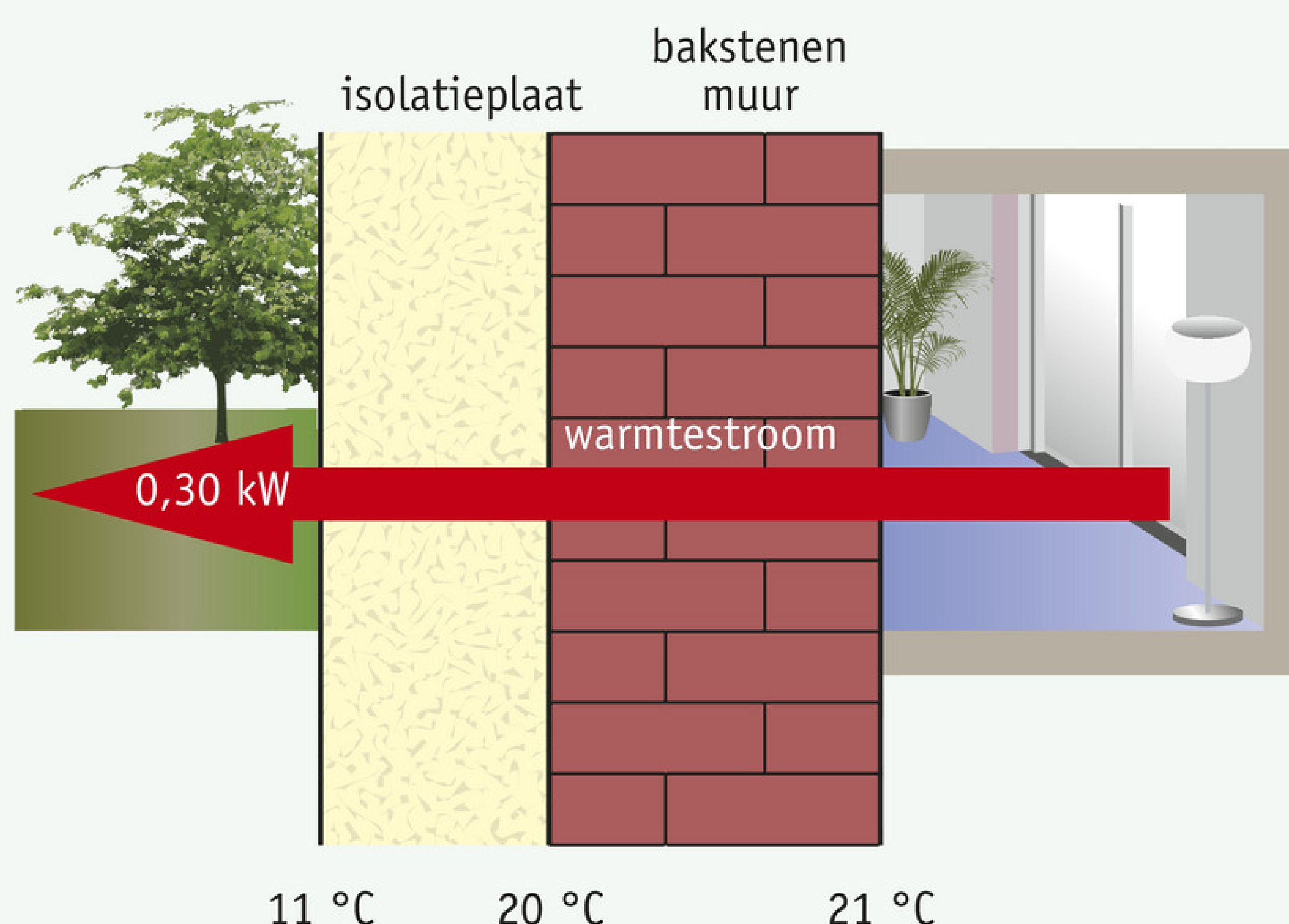
Een oud huis heeft bakstenen buitenmuren met een totale oppervlakte van 120 m^2. Buiten is het op een dag gemiddeld 11 °C, binnen wordt het huis verwarmd tot 21 °C. De dikte van de buitenmuren is 22 cm. De warmtegeleidingscoëfficiënt van het gebruikte beton is 0,55 W/(m °C).

a Bereken het gemiddelde warmteverlies (door geleiding) in joule per seconde (watt) door de muren.

b Door aan de buitenkant van het huis dikke isolatieplaten te plaatsen wordt ervoor gezorgd dat het temperatuurverschil over de bakstenen muur nog maar 1,0 °C is (figuur 11), in plaats van 10 °C.
Toon aan dat de warmtestroom per seconde door de betonnen muur nu 0,30 kW is.

c De warmtestroom door de isolatieplaten is gelijk aan de warmtestroom door de betonnen muur: 0,30 kW. De isolatieplaten hebben een dikte van 15 cm, het temperatuurverschil over de platen is 9,0 °C (figuur 11).
Bereken de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal van de isolatieplaten.

d Door de verbeterde isolatie verdwijnt er dus nog maar 0,30 kW warmte door de muren bij een temperatuurverschil van 10,0 °C tussen binnen- en buitenzijde van het huis.
Ga met een berekening na of de muren van het huis nu voldoen aan de isolatiebouwnorm uit tabel 1.



figuur 11 Temperatuur op een aantal plekken in een geïsoleerde bakstenen muur.

4 Rendement

LEERDOELEN

3.4.1 Je kunt duurzaam energieverbruik uitleggen aan de hand van een energiestroomdiagram.
3.4.2 Je kunt het rendement berekenen op basis van energie.
3.4.3 Je kunt het rendement berekenen op basis van vermogen.
PLUS 3.4.4 Je kunt de energiebesparing door het gebruik van industriële restwarmte uitleggen en toelichten met berekeningen.

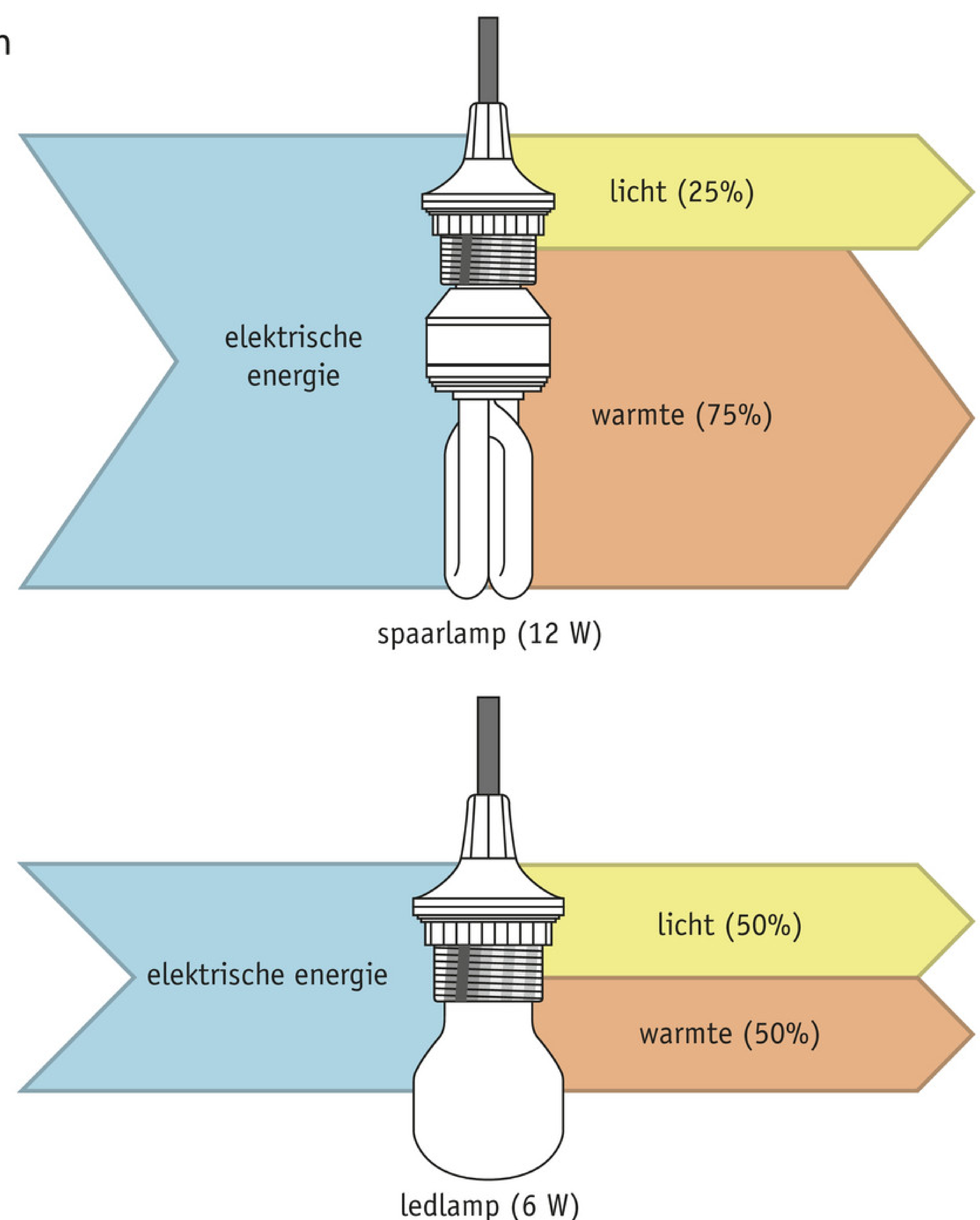
Zuinig zijn met elektrische en chemische energie heeft verschillende voordelen. Je kunt er geld mee besparen, de voorraden aardgas en steenkool raken minder snel op en je helpt milieuproblemen te verminderen.

ENERGIE BESPAREN

Energie besparen betekent dat de hoeveelheid gebruikte energie kleiner wordt. Aan de formule $E = P \cdot t$ kun je zien dat er twee manieren zijn om energie te besparen. Je kunt het vermogen P van een apparaat verkleinen door energiezuinige apparaten te gebruiken: een cv-ketel vervangen door een hr-ketel of een spaarlamp vervangen door een ledlamp. Je kunt ook de tijd t dat een apparaat aanstaat verkorten: minder lang douchen of het licht uitdoen in ruimtes waar je niet bent.

Op zich zegt het niet zoveel dat apparaat A een kleiner vermogen heeft dan apparaat B. Zo'n vergelijking heeft alleen zin als de twee apparaten een vergelijkbare prestatie leveren. Je kunt bijvoorbeeld het vermogen vergelijken van twee lampen die evenveel licht geven: een spaarlamp en een ledlamp. Je ziet dan dat een ledlamp een veel kleiner vermogen heeft dan een vergelijkbare spaarlamp.

In figuur 1 zie je de energiestroomdiagrammen van een spaarlamp en een ledlamp. Een spaarlamp zet 25% van de elektrische energie om in licht; de rest wordt omgezet in warmte. Je zegt dat een spaarlamp een **rendement** heeft van 25%. Een ledlamp doet het beter: die zet 50% van de elektrische energie om in licht. Zo'n lamp heeft dus een rendement van 50%.



figuur 1 Twee energiestroomdiagrammen.

HET RENDEMENT BEREKENEN

PROEF 2+3 Je kunt het rendement van een apparaat berekenen met de formule:

$$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$$

Hierin is:
- η het rendement in procent (%);
- E_{nut} de hoeveelheid energie die nuttig wordt gebruikt in joule (J);
- E_{tot} de energie die aan een apparaat wordt toegevoerd in joule (J).

E_{nut} is bij een lamp de hoeveelheid energie die wordt omgezet in licht. E_{tot} is de hoeveelheid energie die in totaal wordt omgezet. Bij een lamp is dat de verbruikte elektrische energie.

Je krijgt ook een goede uitkomst als je invult:
- hoeveel energie per seconde nuttig is gebruikt;
- hoeveel energie per seconde in totaal is omgezet.

Met andere woorden: je kunt het rendement ook berekenen door het nuttige vermogen te delen door het totale vermogen.

$$\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\%$$

Hierin is:
- η het rendement in procent (%);
- P_{nut} het nuttige vermogen dat een apparaat afgeeft in watt (W);
- P_{tot} het vermogen dat aan een apparaat wordt toegevoerd in watt (W);

VOORBEELDOPDRACHT 1

Als de zon volop schijnt, is het ingestraalde vermogen bij een berghut 1000 W/m^2. Een zonnepaneel met een oppervlakte van 1,8 m^2 levert dan een vermogen van 288 W (figuur 2).
Bereken het rendement van dit zonnepaneel.

gegevens $P_{tot} = 1{,}8 \times 1000 = 1800$ W
$P_{nut} = 288$ W

gevraagd $\eta = ?$

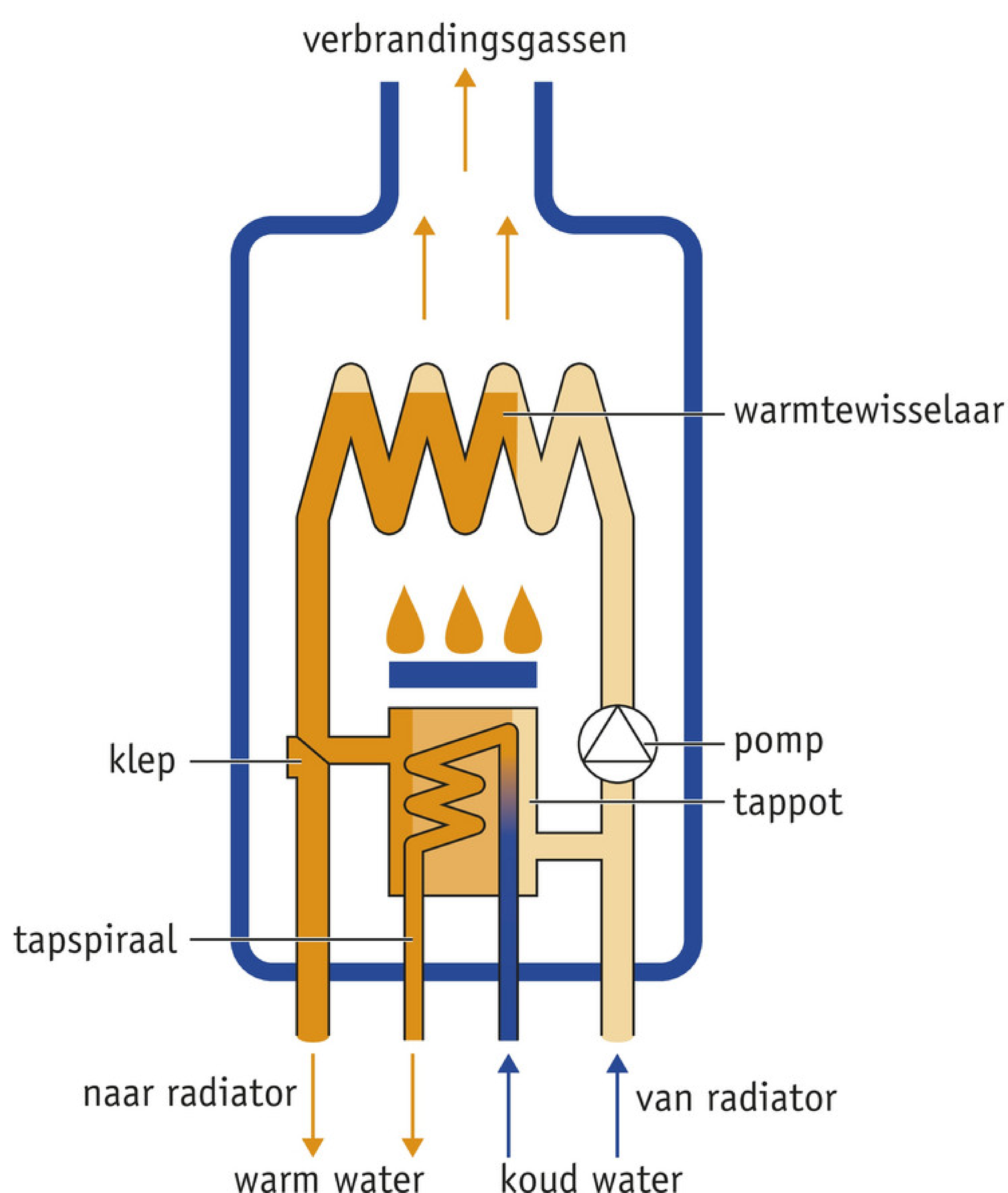
uitwerking $\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\% = \frac{288}{1800} \times 100\% = 16\%$



figuur 2 Het dak van deze berghut biedt ruimte aan drie zonnepanelen van elk 1,8 m^2.

HET RENDEMENT VAN EEN HR-COMBIKETEL

In de verwarmingsketel van een cv-installatie wordt aardgas verbrand (figuur 3). De hete verbrandingsgassen die daarbij ontstaan, stromen langs buizen waar water doorheen stroomt: de warmtewisselaar. Ze staan daarbij een deel van hun warmte aan het water af. De overblijvende warmte verdwijnt met de verbrandingsgassen naar buiten. Door de stand van de klep te veranderen kan water voor de warmwaterkraan en douche in de tappot worden verwarmd.



figuur 3 Een schematisch overzicht van een hr-combiketel.

Om E_{tot} (de totale hoeveelheid omgezette energie) van een hr-combiketel te bepalen, moet je weten hoeveel warmte het verbrande aardgas heeft geleverd. Om dat te kunnen berekenen heb je twee gegevens nodig: het volume van het aardgas dat is verbrand (in m^3) en de **stookwaarde** van deze brandstof. Het aardgas in Nederland heeft een stookwaarde van 32 MJ/m^3. Dat betekent dat er 32 MJ warmte vrijkomt als je 1 m^3 aardgas verbrandt.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Een hr-combiketel verbrandt 0,090 m^3 aardgas.
Bereken hoeveel warmte het aardgas heeft geleverd.

gegevens Er is 0,090 m^3 aardgas verbrand.
De stookwaarde van aardgas is 32 MJ/m^3.

gevraagd $E_{tot} = ?$

uitwerking $E_{tot} = 0{,}090 \times 32 = 2{,}9$ MJ

Om E_{nut} (de hoeveelheid nuttig gebruikte energie) te bepalen, moet je weten hoeveel warmte door het water is opgenomen. Om daarachter te komen, meet je de massa m en de temperatuurstijging ΔT van het verwarmde water. Daarna kun je de hoeveelheid warmte die het water heeft opgenomen berekenen met $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

VOORBEELDOPDRACHT 3

In een hr-combiketel wordt 11 L water verwarmd van 15 °C tot 72 °C.
Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

gegevens De massa m van 11 L water = $1{,}1 \cdot 10^4$ g.
De temperatuurstijging $\Delta T = 72 - 15 = 57$ °C.
De soortelijke warmte c van water = 4,2 J/(g °C).

gevraagd $E_{nut} = ?$

uitwerking $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4{,}2 \times 1{,}1 \cdot 10^4 \times 57 = 2{,}63 \cdot 10^6$ J = 2,6 MJ

Als je E_{tot} en E_{nut} kent, kun je ten slotte het rendement van de hr-combiketel berekenen. Het rendement van een hr-combiketel (hr betekent 'hoog rendement') ligt boven 90%.

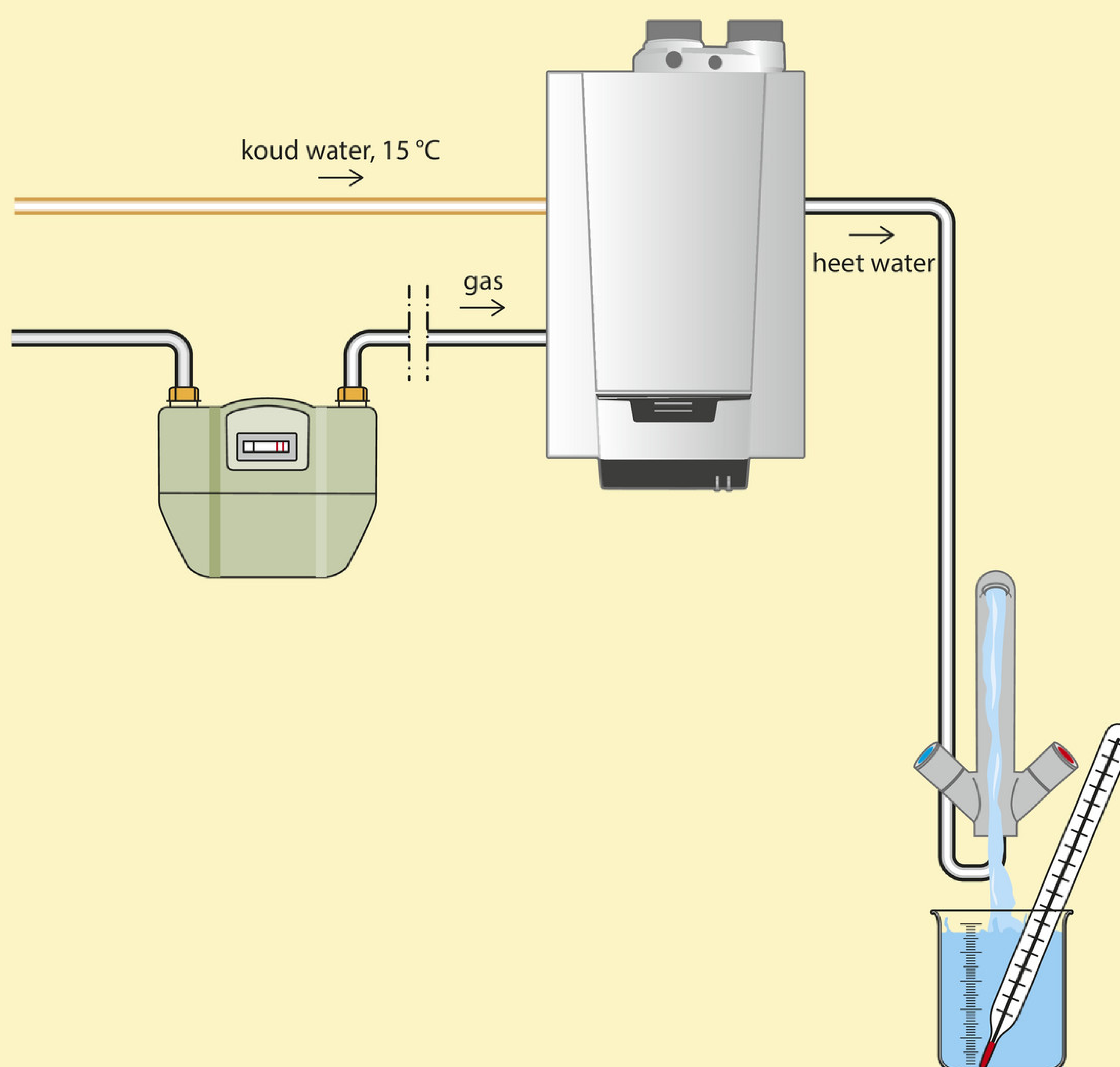
VOORBEELDOPDRACHT 4

Een hr-combiketel verbrandt 0,090 m³ aardgas (figuur 4). Deze hoeveelheid aardgas levert 2,88 MJ warmte. Met deze warmte wordt 11 L water verwarmd van 15 °C tot 72 °C. Het water neemt 2,63 MJ aan warmte op.
Bereken het rendement van de hr-combiketel.

gegevens $E_{tot} = 2{,}88$ MJ
$E_{nut} = 2{,}63$ MJ

gevraagd $\eta = ?$

uitwerking $\eta = \dfrac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\% = \dfrac{2{,}63 \cdot 10^6}{2{,}88 \cdot 10^6} \times 100\% = 91\%$



figuur 4 Zo kun je het rendement van een hr-combiketel bepalen.

PLUS RESTWARMTE NUTTIG GEBRUIKEN

Elektriciteitscentrales hebben een rendement van slechts ongeveer 40%. De overige 60% is restwarmte die via een koelsysteem wordt afgevoerd. Bij een centrale met **warmtekrachtkoppeling** wordt ook de restwarmte nuttig gebruikt, bijvoorbeeld om huizen of kassen in de omgeving van de centrale te verwarmen. Het rendement van de centrale stijgt daarmee tot boven 80%. In 2020 maken ongeveer 410 000 huishoudens in Nederland gebruik van deze stadsverwarming (figuur 5).



figuur 5 Aanleg van stadsverwarming.

Warmtekrachtkoppeling wordt ook veel gebruikt bij fabrieken die veel warmte én veel 'kracht' nodig hebben. Kracht betekent hier het opwekken van stroom of het aandrijven van machines. De warmte, ook wel **industriële restwarmte** genoemd, kan vaak in de omgeving nuttig worden gebruikt. Zo wordt in Aalsmeer de restwarmte van een datacenter gebruikt voor het verwarmen van een zwembad, een kinderopvang en een bedrijf dat potplanten exporteert.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

LEERSTOF

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe kun je aan de formule $E = P \cdot t$ zien dat je op twee manieren kunt besparen op je energierekening?

b Schrijf in eigen woorden op wat het 'rendement van een apparaat' betekent.

c Met welke formules kun je het rendement van een apparaat berekenen?

☐ A $\eta = \frac{E_{tot}}{E_{nut}} \cdot 100\%$

☐ B $\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$

☐ C $\eta = E_{nut} \cdot E_{tot} \cdot 100\%$

☐ D $\eta = \frac{P_{tot}}{P_{nut}} \cdot 100\%$

☐ E $\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\%$

☐ F $\eta = P_{nut} \cdot P_{tot} \cdot 100\%$

d Wat wordt er bedoeld met 'de stookwaarde van een brandstof'?

2 Om het rendement van een hr-combiketel te bepalen, moet je verschillende metingen doen.

a Het meetinstrument waarmee je kunt bepalen hoeveel kubieke meter aardgas er is verbrand heet een ....

b Het meetinstrument waarmee je kunt bepalen hoeveel warm water de hr-combiketel heeft geleverd heet een ....

c Het meetinstrument waarmee je kunt bepalen hoeveel dat water in temperatuur is gestegen heet een ....

TOEPASSING

3 1 m^3 aardgas levert bij verbranding 32 MJ warmte.

a Bereken hoeveel MJ daarvan nuttig wordt gebruikt in een ouderwetse cv-ketel (η = 75%).

b Bereken hoeveel MJ daarvan nuttig wordt gebruikt in een moderne hr-ketel (η = 93%).

4 Lees het krantenartikel in figuur 6.

a Van welke energiebron maakt een zonnecel gebruik? ....

b Welk soort energie levert die energiebron? ....

c Welk soort nuttige energie geeft een zonnecel af? ....

d Waarom is het belangrijk dat het rendement van zonnecellen groter wordt?

Zonnecel met recordrendement van 44,7%

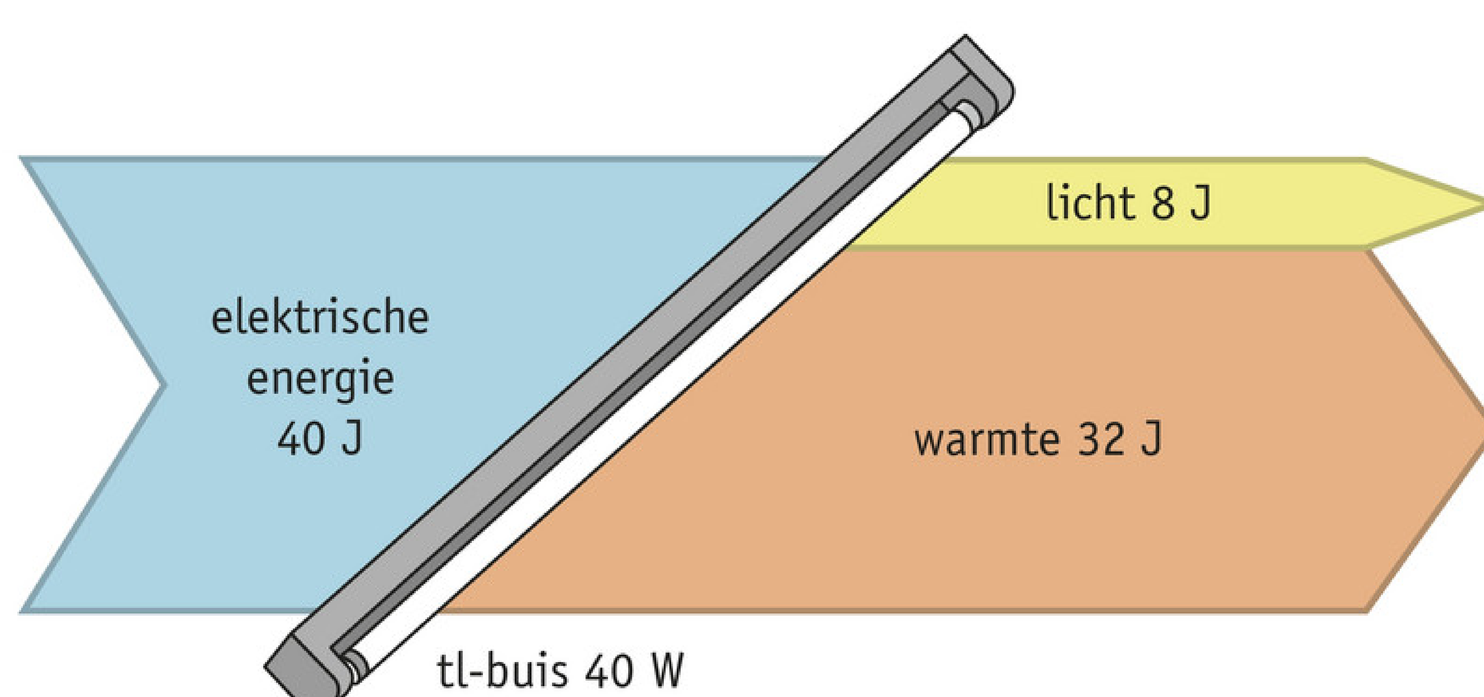
Berlijn – Onderzoekers in Duitsland hebben een zonnecel ontwikkeld met een recordrendement van 44,7%. Deze ontwikkeling betekent een belangrijke stap in de richting van goedkopere omzetting van zonne-energie in elektriciteit. De nieuwe zonnecel is opgebouwd uit vier 'sub-zonnecellen' die gevoelig zijn voor verschillende gedeelten van het zonlichtspectrum. Hierdoor kan 44,7% van de totale energie in het zonnespectrum, van infrarood tot ultraviolet, in elektriciteit worden omgezet.



figuur 6 Het rendement van zonnecellen wordt steeds groter.

5 In figuur 7 zie je het energie-stroomdiagram van een tl-buis.

a Bereken het rendement van de energieomzetting in de tl-buis.



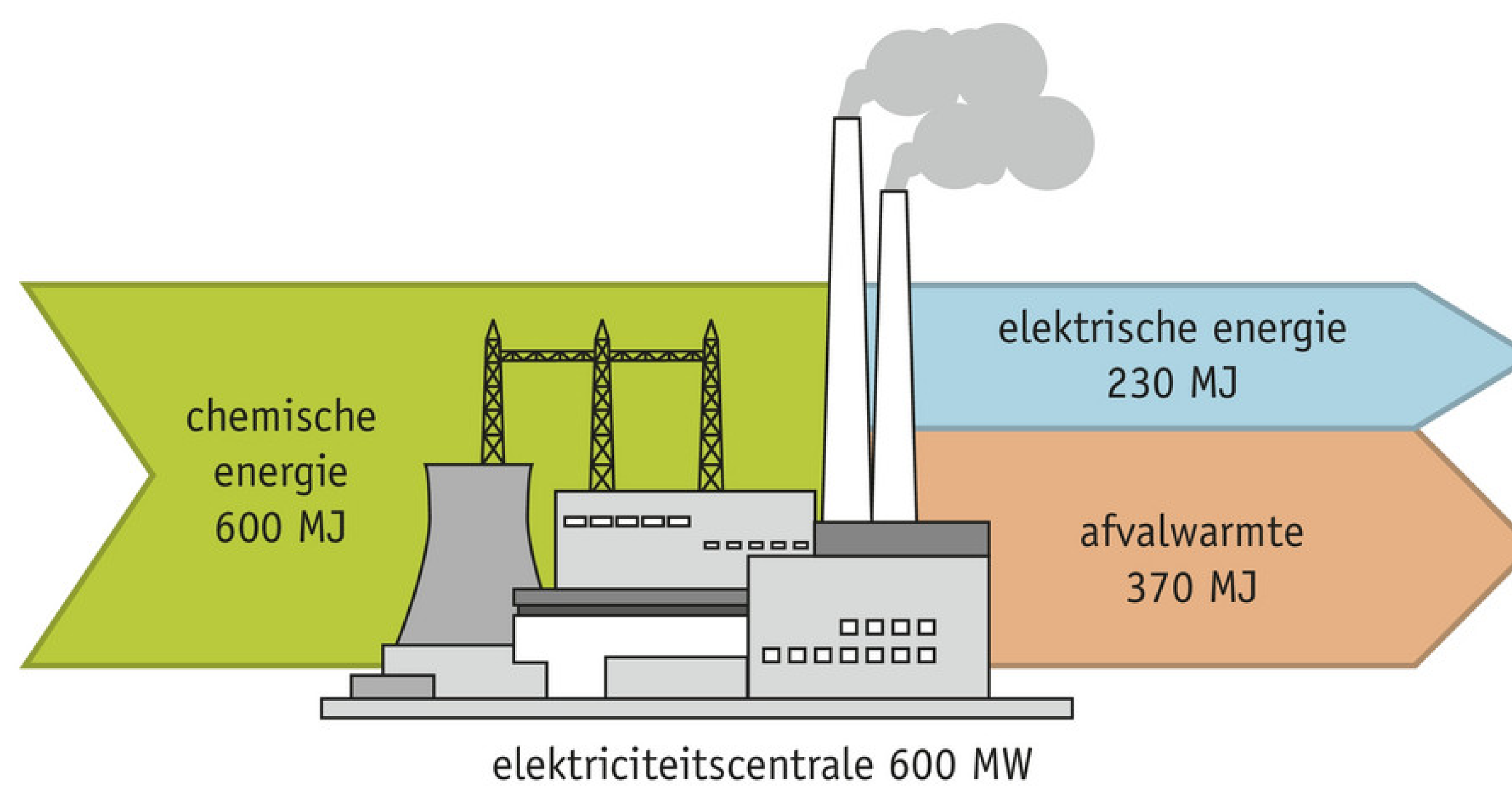
figuur 7 Een energiestroomdiagram van een tl-buis.

b In figuur 8 zie je het energiestroomdiagram van een inductiekookplaat.
Bereken het rendement van de energieomzetting in de inductiekookplaat.



figuur 8 Een energiestroomdiagram van een inductiekookplaat.

c In figuur 9 zie je het energiestroomdiagram van een elektriciteitscentrale.
Bereken het rendement van de energieomzetting in de elektriciteitscentrale.



figuur 9 Een energiestroomdiagram van een elektriciteitscentrale.

6 In de bureaulamp van Mamud zit een ledlamp. De lamp is via een adapter aangesloten op het lichtnet. De adapter neemt 11 W elektrisch vermogen op en geeft 8 W elektrisch vermogen af.

a Bereken het rendement van de adapter.
b Wat gebeurt er met de 3 W vermogen die niet nuttig wordt gebruikt?
c Hoe merkt Mamud dat als hij de adapter aanraakt?
d Teken het energiestroomdiagram in figuur 10. Geef elke pijl de juiste hoogte.



figuur 10 Het energiestroomdiagram van een netadapter.

7 Een hr-combiketel verbrandt 0,30 m^3 aardgas. Met deze 0,30 m^3 aardgas wordt 28 L water verwarmd van 15 °C tot 85 °C. De stookwaarde van aardgas is 32 MJ/m^3.

a Bereken hoeveel warmte bij de verbranding van het aardgas vrijkomt.

b Bereken hoeveel warmte er door het verwarmde water is opgenomen.

c Bereken hoe groot het rendement van de combiketel is.

8 Met een elektrische flessenwarmer kun je een babymelkfles opwarmen. Een elektrische flessenwarmer heeft een vermogen van 80 W. Het duurt 8,5 minuten voor de temperatuur van de 200 g water in de zuigfles is gestegen van 7 °C tot 37 °C.

a Bereken het rendement van de flessenwarmer. Schrijf de hele berekening op.

b Een flessenwarmer heeft een vrij laag rendement.
Bedenk daarvoor twee oorzaken.

9 In figuur 11 zie je een gedeelte van een folder over warmtepompdrogers.

a Noem twee argumenten om voor een warmtepompdroger te kiezen.

b De katoen-droogprogramma's van de warmtepompdroger en de condensdroger duren bijna even lang.
Leg uit welke van de twee wasdrogers het grootste geïnstalleerde vermogen heeft.

c Welke manier om de was te drogen is nog milieuvriendelijker dan zo'n warmtepompdroger?

Warmtepompdrogers: superzuinig!



Wasdrogers zijn in ons regenachtige land een zegen, maar ze hebben een grote elektriciteits-eetlust. Uw energierekening kan ervan meepraten. Om dit bezwaar te verminderen, is de warmtepompdroger ontwikkeld. De warmtepompdroger kan warmte uit de omgevingslucht halen en niet uit een elektrische weerstand zoals bij de condensdroger. De warmtepompdroger gaat dan ook heel zuinig om met energie. Bij een gemiddeld gebruik van vier droogbeurten per week bespaart u zo jaarlijks twee derde aan energiekosten ten opzichte van een condensdroger.

figuur 11 Reclame voor wasdrogers.

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

PLUS RESTWARMTE NUTTIG GEBRUIKEN

10 Een aardgascentrale die gebruikmaakt van warmtekrachtkoppeling heeft een rendement van 80%.

a Hoe kun je aan het gegeven rendement (80%) zien dat je niet hebt te maken met een 'gewone' aardgascentrale?

b Wat wordt bedoeld met het begrip 'warmtekrachtkoppeling'?

c De centrale die restwarmte levert voor de verwarming van tuinderskassen heeft een (gemiddeld) elektrisch vermogen van 23 MW. Hiervoor moet de centrale per seconde 46 MJ aan (chemische) energie uit aardgas omzetten.
Bereken hoeveel restwarmte de centrale per seconde (gemiddeld) aan de tuinderskassen levert.

11 In Aalsmeer wordt een zwembad verwarmd met behulp van industriële restwarmte. De afmetingen van het zwembad zijn 50 m × 25 m × 2,0 m.

a Bereken de massa van het water in het zwembad (in gram).

b Bereken hoeveel energie er nodig is om het water van 15 °C naar 27 °C te verwarmen.

c Het verbranden van 1 m^3 aardgas levert een energie van 32 MJ.
Bereken hoeveel m^3 aardgas er wordt bespaard, nu dit verwarmen met industriële restwarmte wordt gedaan.

Practica

PROEF 1 DE SOORTELIJKE WARMTE VAN WATER

30 minuten

Inleiding

De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen, noem je de soortelijke warmte van die stof.

Doel

Je bepaalt de soortelijke warmte van water.

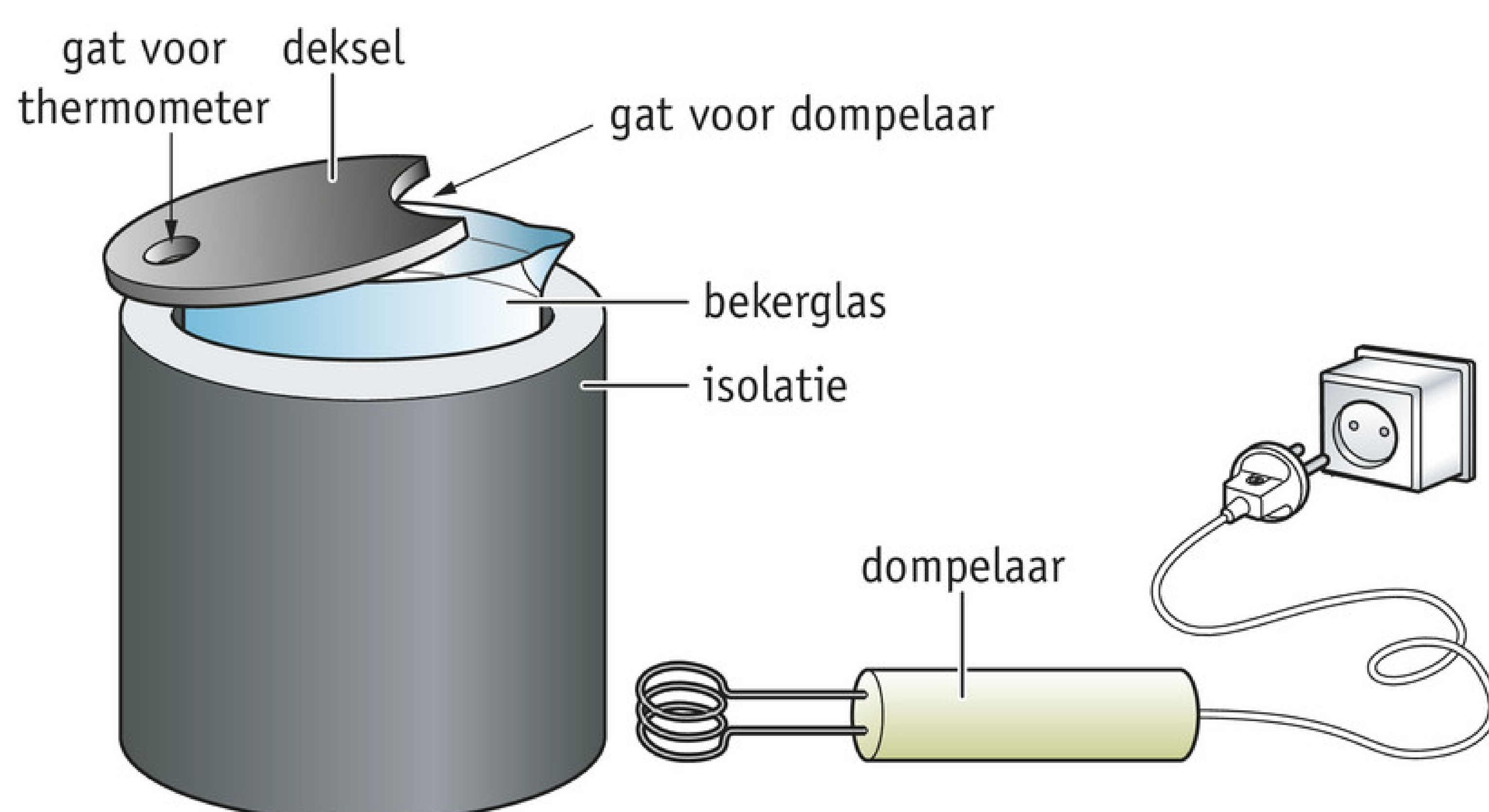
Nodig

- ☐ calorimeter of geïsoleerd bekerglas (500 mL) met deksel
- ☐ thermometer
- ☐ dompelaar
- ☐ maatcilinder
- ☐ stopwatch

Uitvoeren en uitwerken

Meten

- Vul het bekerglas zo precies mogelijk met 500 mL water.
- Zet de dompelaar in het water, maar sluit hem nog niet aan. Sluit het bekerglas af met het deksel (figuur 1).
- Bepaal de begintemperatuur van het water.
- Sluit de dompelaar aan. Meet hoeveel tijd er nodig is om de 500 mL water 20 °C in temperatuur te laten stijgen.



figuur 1 De opstelling van proef 1.

1 Noteer het vermogen van de dompelaar, de begintemperatuur en de benodigde tijd.

....

....

....

- Haal de stekker na de proef meteen uit het stopcontact.

Uitwerken

2 Bereken met de formule $E = P \cdot t$ hoeveel warmte de dompelaar heeft afgegeven.

....

....

....

3 Bereken de soortelijke warmte c van water met de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

....

....

....

4 Vergelijk de uitkomst met de waarde die in paragraaf 2 staat vermeld.
Hoe groot is het verschil?

....

5 Leg uit waarom de proef zoals jij hem hebt uitgevoerd, waarschijnlijk een te hoge waarde voor de soortelijke warmte oplevert.

....

....

....

....

6 Hoe zou je de soortelijke warmte van water nauwkeuriger kunnen bepalen?
Beschrijf wat je daarvoor aan de proef zou moeten veranderen.

....

....

....

....

PROEF 2 HET RENDEMENT VAN EEN WAXINELICHTJE

30 minuten

Inleiding

Met een waxinelichtje kun je water verwarmen. Een deel van de warmte van het lichtje komt dan in het water terecht. Een ander deel van de warmte gaat verloren. Het rendement van deze manier van verwarmen is dus zeker geen 100%. Maar hoeveel dan wel? Dat onderzoek je bij deze proef.

Doel

De onderzoeksvraag is:
Hoe groot is het rendement als je water met een waxinelichtje verwarmt?

Nodig

- ☐ driepoot
- ☐ keramische driehoek
- ☐ bekerglas (100 mL)
- ☐ maatcilinder
- ☐ thermometer
- ☐ weegschaal
- ☐ waxinelichtje
- ☐ lucifers
- ☐ een onbrandbaar voorwerp waarop het waxinelichtje kan staan

Uitvoeren en uitwerken

Voorbereiden

Een brandend waxinelichtje wordt steeds lichter. Dat komt doordat de verbrandingsproducten (waterdamp en koolstofdioxide) gasvormig zijn en door het hele lokaal worden verspreid. Door de massa van het waxinelichtje voor en na de proef te bepalen, kun je bepalen hoeveel gram brandstof er is verbrand.

Meten

- Bepaal de beginmassa van het waxinelichtje.
- Doe 50 mL water in het bekerglas.
- Meet de temperatuur van het water.

1 Noteer de beginmassa en de begintemperatuur.

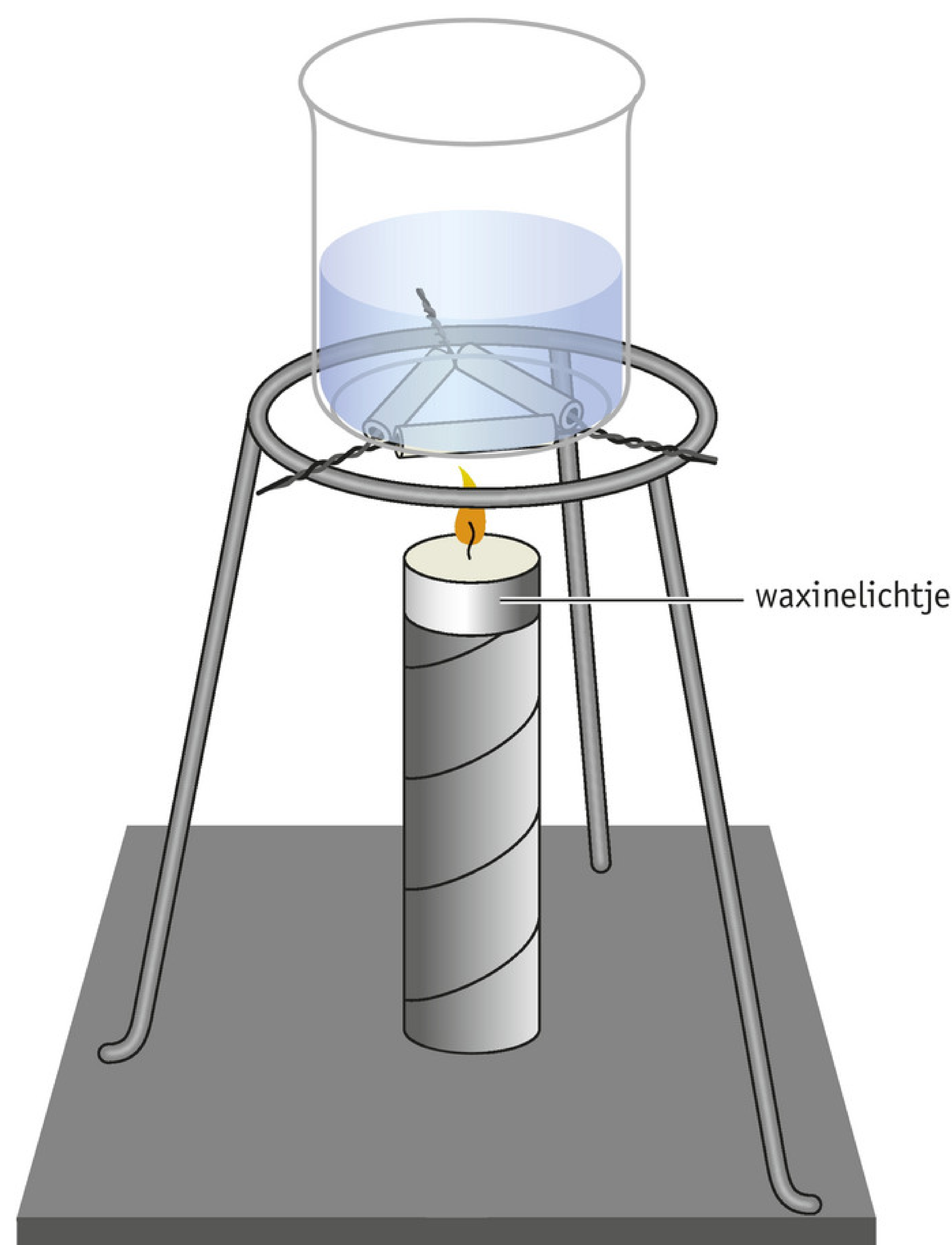
....

....

....

....

- Maak de opstelling van figuur 2.
- Steek het waxinelichtje aan.
- Roer af en toe met de thermometer.
- Meet na 6 minuten opnieuw de temperatuur van het water.
- Blaas het waxinelichtje voorzichtig uit.
- Bepaal opnieuw de massa van het waxinelichtje.



figuur 2 De opstelling van proef 2.

2 Noteer de eindmassa en de eindtemperatuur.

....

....

Uitwerken

3 Als er 1,0 g van het waxinelichtje verbrandt, levert dat 40 kJ warmte op.
Bereken hoeveel warmte door het waxinelichtje is geleverd.

....

....

....

....

4 Zoek in de theorie de soortelijke warmte van water op.
Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

....

....

....

....

5 Bereken met je antwoorden op opdracht 3 en 4 het rendement.

....

....

....

....

6 Vergelijk jouw rendement met het rendement van je medeleerlingen.
Waardoor komt het dat iedereen een andere waarde heeft?

....

....

....

....

7 Op welke manieren zou je het rendement van het waxinelichtje kunnen verbeteren?

....

....

....

....

PROEF 3 HET VERMOGEN VAN EEN ZONNEPANEEL

45 minuten

Inleiding

Een zonnepaneel levert het meeste vermogen en elektrische energie als hij precies op de zon is gericht. Als de richting van de ideale richting afwijkt, is het geleverde vermogen lager. Een energiebedrijf wil zijn klanten precies kunnen vertellen hoe de richting de opbrengst van de zonnepanelen beïnvloedt. Jij bent bij deze opdracht de onderzoeker die de benodigde gegevens moet verzamelen.

Doel

Hoeveel lager wordt het vermogen? Dat onderzoek je bij deze proef. De onderzoeksvraag luidt:
Wat is het verband tussen de richting waarin een zonnepaneel staat opgesteld en het vermogen dat het zonnepaneel levert?

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.
- De werkplannen worden de volgende les met de klas besproken. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.
- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

De volgende proef staat in de online leeromgeving. Je docent beslist of de proef wordt uitgevoerd.

PROEF 4 WARMTEGELEIDING

15 minuten

Inleiding

Je gaat onderzoeken hoe goed stoffen warmte geleiden.

Duurzaam geproduceerde energie opslaan



Nu er steeds meer elektrische energie wordt opgewekt met zonnepanelen en windturbines, werken veel onderzoekers en bedrijven aan slimme oplossingen voor het opslaan van deze duurzaam geproduceerde energie. De eerste megabatterijen staan al opgesteld in Australië en de Verenigde Arabische Emiraten. Ook wordt er druk gewerkt aan de eerste testfabrieken voor het maken van zonnebrandstoffen.

De productie van duurzame elektriciteit is afhankelijk van de beschikbaarheid van zon en wind. Bij windstil en bewolkt weer kan de stroomvoorziening in gevaar komen en worden elektriciteitscentrales ingeschakeld die op fossiele brandstoffen werken. Te veel wind kan echter ook problemen opleveren. Op eerste kerstdag 2015 was de wind in Oost-Duitsland plotseling veel harder dan voorspeld. Op dat moment leverden de windmolens in dat gebied 12 GW, drie keer zoveel als de Oost-Duitsers zelf verbruikten. Het overschot moest via hoogspanningsleidingen snel naar andere gebieden worden getransporteerd om te voorkomen dat in een groot gebied de elektriciteit door overbelasting zou uitvallen. Daarom zakte de elektriciteitsprijs op de handelsbeurs op dat moment van 40 €/MWh tot een negatieve prijs van −120 €/MWh. Wie op dat moment veel stroom kon gebruiken, kreeg geld toe. Een heel nauwkeurige weersvoorspelling wordt dus steeds belangrijker, liefst op een tijdschaal van minuten. Een manier om tekorten en overschotten in de energievoorziening te voorkomen is het opslaan van duurzame energie. Grootschalige opslag van elektrische energie is een belangrijk onderdeel van de energietransitie.

MEGAGROTE BATTERIJEN

In 2016 en 2017 viel de elektriciteit in een groot deel van Zuid-Australië een paar keer uit, veroorzaakt door storm en hitte. De Australische regering besloot iets te doen en vroeg bedrijven om met duurzame oplossingen te komen voor het opslaan van ten minste 100 megawattuur (MWh) elektrische energie (de capaciteit). Het bedrijf Tesla, bekend van elektrische auto's, beloofde dit klusje binnen honderd dagen te klaren. Tesla kreeg de opdracht en bouwde binnen drie maanden

de Powerpack, een megabatterij met een vermogen van 100 MW en een capaciteit van 129 MWh. De Powerpack staat opgesteld bij een windmolenpark in de buurt van Jamestown (figuur 1). Hij is de grootste lithium-ionbatterij op aarde, die wordt opgeladen als er te veel elektrische energie wordt geproduceerd. De batterij levert energie als de vraag groter is dan de productie van de windturbines in het windmolenpark. In het warme klimaat van Zuid-Australië moet de megabatterij wel worden gekoeld om de levensduur te verlengen.



figuur 1 De Powerpack lithium-ionbatterij van Tesla in Zuid-Australië.

Dit accupark is een groot succes. Het zorgde er in de eerste vier maanden van 2018 voor dat de kosten voor het opvangen van stroomstoringen enorm daalden. Een elektriciteitscentrale op fossiele brandstoffen die werd gebruikt om tekorten aan duurzaam opgewekte elektriciteit op te vangen werd overbodig. Bovendien kan de megabatterij sneller worden ingeschakeld dan een centrale en het accupark veroorzaakt geen uitstoot van koolstofdioxide. Na een jaar was er van de totale kosten van 66 miljoen dollar voor de bouw van de Powerpack al 60% terugverdiend.

In 2019 is in Abu Dhabi ook een mega-installatie van batterijen gebouwd, met een totaal vermogen van 108 MW en een capaciteit van 648 MWh. Deze installatie bestaat uit natrium-zwavelbatterijen. Die worden gemaakt van goedkope grondstoffen, maar zijn wel een stuk groter dan lithium-ionbatterijen. In figuur 2 staan natrium-zwavelbatterijen die onbeperkt kunnen worden geladen en ontladen zonder dat de levensduur vermindert, zolang ze maar worden verwarmd tot 300 °C.

“Deze snelle technologie kan de stabiliteit van het elektriciteitsnet sterk verbeteren.”


figuur 2 Grote natrium-zwavelbatterijen.

DUURZAME KEROSINE

In Duitsland is de energietransitie een stuk verder dan in Nederland. In 2019 werd hier al meer dan 50% van de elektrische energie duurzaam opgewekt door windmolens en zonnepanelen. Dat lijkt heel wat, maar van alle energie die wordt verbruikt, is slechts twintig procent elektrisch. Het is belangrijk dat er ook wordt gewerkt aan een duurzame vorm van brandstoffen voor auto’s, vrachtwagens, schepen en vliegtuigen.

Auto’s kunnen op elektrische energie rijden, dat zie je steeds vaker op de weg. Maar grote vliegtuigen die op zonnepanelen of een accu werken, bestaan voorlopig alleen nog maar in sciencefiction. Daarom is er een plan gemaakt voor de productie van duurzame kerosine voor Schiphol. Als je met behulp van duurzame elektriciteit koolstofdioxide uit de lucht om kunt zetten in kerosine, dan zou een vliegtuig daarmee CO_2-neutraal vliegen. Technisch is dat lastig, maar koolstofdioxide wegvangen bij de industrie kan wel. Als je dat doet, produceert de industrie geen koolstofdioxide meer die in de atmosfeer verdwijnt. Dat gebeurt pas later als het vliegtuig vliegt. Omdat daarvoor dan geen fossiele brandstoffen nodig zijn, is de vermindering van de koolstofdioxide-uitstoot 50%.



figuur 3 De hoogovens in Velsen.

In 2018 berekende het bedrijf Quintel Intelligence dat de totale hoeveelheid koolstofdioxide die de hoogovens in Velsen (figuur 3) uitstoten ($9 \cdot 10^9$ kg per jaar) voldoende is om duurzame kerosine voor de helft van alle vliegtuigen op Schiphol te maken (figuur 4). Daarnaast zijn elektriciteit en waterstof nodig, die worden geproduceerd door windparken op de Noordzee.
Een samenwerkingsverband van onderzoekers en bedrijven wil hier graag een testfabriek voor bouwen. Daarmee kunnen verschillende stappen in het productieproces worden bestudeerd en geoptimaliseerd. Een echt duurzame kerosinefabriek zou dan in 2030 met de productie kunnen starten. Het gebruik van duurzame kerosine zal een vliegticket nauwelijks duurder maken. Met dit onderzoek kan Nederland koploper in de ontwikkeling van duurzame brandstoffen worden.

Zonnebrandstoffen

Brandstoffen die zijn geproduceerd met behulp van duurzame elektriciteit noem je zonnebrandstoffen. Als je koolstofdioxide uit de atmosfeer en water gebruikt voor het maken van een brandstof, dan zijn dit ook weer de producten na verbranding van de brandstof. Zo is de kringloop rond.
Het maken van kerosine als zonnebrandstof gebeurt als volgt:

1. Elektrolyse: water wordt met behulp van duurzame elektrische energie gesplitst in waterstof en zuurstof (de zuurstof wordt verder niet gebruikt). Het kost in theorie 144 MJ om op deze manier 1 kg waterstof te maken.
2. Koolstofdioxide verzamelen. Koolstofdioxide uit de lucht halen kost veel energie. Het is gemakkelijker om het gas te winnen bij een industriële installatie, zoals de hoogovens. Het afvangen van 1 kg koolstofdioxide kost dan 0,9 MJ.
3. Koolstofdioxide omzetten met behulp van waterstof in koolstofmonoxide. Het maken van 1 kg koolstofmonoxide uit koolstofdioxide kost 2,2 MJ.
4. Met koolstofmonoxide en waterstof wordt kerosine gemaakt. Dit gebeurt nu ook al op grote schaal



figuur 4 In de toekomst tankt dit vliegtuig duurzaam geproduceerde kerosine.

OPDRACHTEN

1 In tabel 1 staan verschillende gegevens over lithium-ionbatterijen.

tabel 1 Gegevens over lithium-ionbatterijen.

lithium-ionbatterij	
bronspanning	3,6-3,7 V
laad/ontlaadefficiëntie	80-92%
zelfontlading	5-10%/maand
capaciteitsverlies na 1 jaar (25 °C)	2-20%
capaciteitsverlies na 1 jaar (40 °C)	15-35%

a Leg met behulp van de gegevens in tabel 1 uit waarom lithium-ionbatterijen niet geschikt zijn als je drie maanden lang elektrische energie wilt opslaan.

b De term 'laad/ontlaadefficiëntie' geeft aan wat het rendement van de opslag van elektrische energie in een lithium-ionbatterij is.
Leg met behulp van de gegevens in tabel 1 uit waarom het rendement van Tesla's gloednieuwe Powerpack in Zuid-Australië minder groot zal zijn dan 92%.

2 Noem voordelen en nadelen van de natrium-zwavelbatterijen in Abu Dhabi in vergelijking met de Powerpack in Zuid-Australië.

3 Voor het maken van 1,0 kg kerosine is 0,30 kg waterstof en 2,0 kg koolstofmonoxide nodig. Bij de productie ontstaat ook 1,3 kg water.

a In theorie is er door de elektrolyse van water 144 MJ nodig om 1,0 kg waterstof te maken. In de praktijk is het rendement van dit proces van de beste installaties maximaal 70%.
Hoeveel MJ is er in de praktijk nodig voor de productie van 0,30 kg waterstof?

b In de tekst staat de hoeveelheid energie die nodig is voor het maken van 1,0 kg koolstofmonoxide uit koolstofdioxide.
Hoeveel MJ is er nodig voor het maken van de hoeveelheid koolstofmonoxide voor 1,0 kg kerosine?

c Per kg koolstofmonoxide wordt 1,6 kg koolstofdioxide gebruikt, dus voor het maken van 1 kg kerosine wordt 3,2 kg koolstofdioxide gebruikt.
Hoeveel energie is er nodig voor het afvangen van deze hoeveelheid koolstofdioxide?

d Voor de productie van 1,0 kg kerosine uit koolstofmonoxide en waterstof is 0,9 MJ nodig.
Hoeveel energie is er nodig voor de productie van 1,0 kg kerosine als je alle stappen bij elkaar optelt?

e Het windpark bij IJmuiden dat voor de duurzame elektrische energie gaat zorgen, levert gemiddeld een vermogen van 10 GW.
Hoeveel kg kerosine kan hiermee per seconde worden gemaakt?

f Hoeveel koolstofdioxide kan daardoor per seconde worden omgezet met de duurzame energie van het windpark? Hoeveel is dat per jaar?

g De hoogovens in Velsen stoten 9,0 10^9 kg koolstofdioxide per jaar uit.
Hoeveel van het vermogen van het windpark van 10 GW wordt maximaal gebruikt voor het maken van kerosine?

Leerstofoverzicht

3.1 ENERGIEBRONNEN

ONTHOUD

- Een energiebron is alles wat een bruikbare soort energie kan leveren.
- Energiebronnen die in Nederland worden gebruikt zijn: fossiele brandstoffen, biomassa, wind, atoomsplijting, zon en aardwarmte.
- De ideale energiebron is onuitputtelijk, altijd beschikbaar, milieuvriendelijk en goedkoop.
- Overschakelen naar klimaatneutrale energiebronnen heet energietransitie.
- De energietransitie heeft vier kenmerken: fossiele brandstoffen vervangen, gebruik van energie beperken, energie opslaan en energie lokaal produceren.

BEGRIPPEN

aardwarmte
Warmte die afkomstig is uit diepe aardlagen.

bewegingsenergie
Soort energie die vrijkomt als gevolg van een beweging.

biomassa
Energiebron die bestaat uit materiaal dat van planten en dieren afkomstig is.

energiebron
Alles wat een bruikbaar soort energie kan leveren.

energietransitie
Het overschakelen van fossiele brandstoffen (aardgas, steenkool en aardolie) als belangrijke energiebron naar energiebronnen die 'klimaatneutraal' zijn.

fossiele brandstof
Een brandstof zoals aardolie, aardgas en steenkool, die heel lang geleden is ontstaan uit de resten van planten en dieren.

stralingsenergie
Energie die in straling, zoals zonlicht, aanwezig is.

warmtewisselaar
Apparaat waarin heet water uit diepe aardlagen wordt gebruikt om koud water op te warmen. Het opgewarmde water kun je gebruiken om kassen en huizen te verwarmen.

windturbine
Moderne windmolen waarvan de wieken een generator aandrijven.

zonnecel
Onderdeel van zonnepanelen waarmee de stralingsenergie van zonlicht kan worden omgezet in elektrische energie.

3.2 VERWARMEN

ONTHOUD

- In een energiestroomdiagram geef je weer welke energiesoorten betrokken zijn bij de energieomzetting in een apparaat. De hoeveelheid energie is voor en na omzetting altijd gelijk.
- Warmte is een vorm van energie.
- Temperatuur is de mate waarin moleculen bewegen. Hoe sneller moleculen bewegen, des te hoger is de temperatuur.
- De hoeveelheid energie die nodig is om een bepaalde massa van een stof in temperatuur te laten stijgen bereken je met de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$. Hierbij is c de soortelijke warmte van die stof.

BEGRIPPEN

calorimeter
Apparaat waarmee je kunt meten hoeveel warmte nodig is voor het verwarmen van een bepaalde hoeveelheid water.

elektrische energie
Energie die door elektriciteit (stroom, spanning) wordt vervoerd en aan apparaten wordt geleverd.

energieomzetting
Proces waarbij de ene soort energie verandert in een andere soort energie.

energiestroomdiagram
Schematische weergave van een energieomzetting.

soortelijke warmte
De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen.

warmte
Een vorm van energie. Resultaat of bijproduct van een verbranding.

warmtebron
Apparaat of voorwerp dat warmte afgeeft.

3.3 ISOLEREN

ONTHOUD

- Een huis verliest warmte aan de omgeving als de binnentemperatuur hoger is dan de buitentemperatuur.
- Het warmteverlies kan plaatsvinden door geleiding, stroming en straling.
- Warmteverlies uit een huis kun je beperken door geleiding, stroming en straling te verminderen of te voorkomen.
- Het warmteverlies door een muur is afhankelijk van de oppervlakte van de muur, de dikte van de muur, het materiaal waarvan de muur is gemaakt en het verschil tussen binnentemperatuur en buitentemperatuur.
- Een huis kun je isoleren door hr++ en hr+++ glas te gebruiken in plaats van enkel- of dubbelglas. Muren, daken en vloeren kun je isoleren door materialen ertegenaan te monteren met daarin veel stilstaande lucht.

BEGRIPPEN

geleiding
Proces waarbij warmte zich door een stof verspreidt.

isoleren
Maatregelen die je kunt nemen om warmteverlies in huis te beperken.

straling
Proces waarbij warmte wordt verspreid als gevolg van het uitzenden van pakketjes stralingsenergie.

stroming
Proces waarbij een vloeistof of gas gaat bewegen. Door het bewegen kan er warmtetransport plaatsvinden.

3.4 RENDEMENT

ONTHOUD

- Het energieverbruik van een apparaat kun je verkleinen door het vermogen van het apparaat te verkleinen of de tijdsduur dat het apparaat aanstaat te verkleinen.
- Door stroomdiagrammen te maken van twee apparaten die een vergelijkbare prestatie leveren is het mogelijk het energieverbruik van beide apparaten te vergelijken.
- Het rendement van een apparaat kun je berekenen door de energie die het apparaat omzet te vergelijken met de energie die nuttig wordt gebruikt. In formulevorm:

$$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$$

- Het rendement van een apparaat kun je berekenen door het vermogen van het apparaat te vergelijken met het vermogen dat nuttig wordt gebruikt. In formulevorm:

$$\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\%$$

- De energie die het verbranden van een bepaalde hoeveelheid brandstof oplevert bereken je door de stookwaarde te vermenigvuldigen met de hoeveelheid brandstof.

BEGRIPPEN

rendement
De hoeveelheid energie die nuttig wordt gebruikt. Dit wordt weergegeven als percentage van het totaal aan energie.

stookwaarde
Warmte die vrijkomt als een brandstof wordt verbrand.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

Vaardigheden

GEGEVENS VERZAMELEN EN VERWERKEN

Bij het vak natuurkunde gaat het zowel om kennis (wat je weet) als om vaardigheden (wat je kunt). Bij die vaardigheden horen onder andere het bouwen van proefopstellingen, het verzamelen van meetgegevens, het uitvoeren van berekeningen en het tekenen van grafieken. In dit deel van het boek vind je een overzicht.



1 Onderzoek doen

Het doen van onderzoek begint met een onderzoeksvraag. Je maakt een plan om achter het antwoord te komen, en voert dat plan daarna zelf uit. Daarbij ga je stap voor stap te werk.

Stap 1 **Bedenk een onderzoeksvraag.**
Soms staat de onderzoeksvraag al in de opdracht vermeld. Dan hoef je er alleen maar over na te denken hoe je die vraag kunt beantwoorden. Soms wordt van jou verwacht dat je zelf een onderzoeksvraag bedenkt. Wees daarbij niet te gauw tevreden: je moet wel een idee hebben hoe je je vraag kunt beantwoorden. Formuleer voordat je verdergaat je onderzoeksvraag zo precies mogelijk.

Stap 2 **Maak een werkplan.**
In je werkplan schrijf je op:

- welke grootheden je gaat meten;
- welke materialen en apparatuur je nodig hebt;
- welke opstelling je gaat bouwen (maak een tekening);
- welke metingen je gaat uitvoeren;
- (eventueel) welke formules je gaat gebruiken.

Stap 3 **Uitvoeren en uitwerken.**
Je bouwt de proefopstelling en voert daarmee de geplande metingen uit. Na elke meting noteer je de meetwaarden overzichtelijk, bijvoorbeeld in een tabel. Na afloop werk je de metingen verder uit, bijvoorbeeld door een grafiek te tekenen of door berekeningen te maken. Raadpleeg daarvoor zo nodig de andere vaardigheden.

Stap 4 **Conclusies trekken.**
Als alles goed is gegaan, kun je nu conclusies trekken. Die conclusies vormen samen het antwoord op je onderzoeksvraag. Een conclusie is geen samenvatting van de meetresultaten, maar iets wat je uit die meetresultaten afleidt (concludeert). Vraag je ook af wat er in je onderzoek beter had gekund.

Stap 5 **Een verslag maken.**
Tot slot maak je een verslag van je onderzoek. Zie de vaardigheid *Een verslag schrijven*.

2 Werken met grootheden en eenheden

Een grootheid is iets wat je kunt meten. Voorbeelden van grootheden zijn massa, kracht, weerstand en tijd. Om een grootheid te kunnen meten, heb je een eenheid nodig. Je meet de massa in kilogram, de kracht in newton, de weerstand in ohm en de tijd in seconden.

Vaak past de grootte van een eenheid niet goed bij de grootte van wat je wilt meten. In zo'n geval kun je een voorvoegsel voor de eenheid zetten. In plaats van: "De dikte is 0,0003 meter" schrijf je: "De dikte is 0,3 mm."

Je kunt een voorvoegsel altijd vervangen door een macht van 10 (en omgekeerd). In plaats van: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je 4,8 GJ aan warmte" kun je ook schrijven: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je $4{,}8 \cdot 10^9$ J aan warmte." Zie tabel 1.

tabel 1 Voorvoegsels en hun betekenis.

voorvoegsel	afkorting	betekenis	voorbeeld
giga	G	10^9	1 GJ = 10^9 J
mega	M	10^6	1 MW = 10^6 W
kilo	k	10^3	1 kN = 1000 N
hecto	h	10^2	1 hPa = 100 Pa
deca	da	10^1	1 dam = 10 m
deci	d	10^{-1}	1 dL = 0,1 L
centi	c	10^{-2}	1 cm = 0,01 m
milli	m	10^{-3}	1 mΩ = 0,001 Ω
micro	µ	10^{-6}	1 µg = 10^{-6} g
nano	n	10^{-9}	1 ns = 10^{-9} s

Soms zijn er voor één grootheid verschillende eenheden in gebruik. Denk aan elektrische energie in joule (J) en kilowattuur (kWh) of aan snelheid in meter per seconde (m/s) en kilometer per uur (km/h). In dat geval is het soms nodig dat je een gegeven van de ene eenheid naar de andere omrekent.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Volgens een consumentenorganisatie verbruikt een gemiddeld Nederlands gezin ongeveer 300 kWh elektrische energie per maand.
Hoeveel is dat in joule?

1 kWh = $3{,}6 \cdot 10^6$ J

300 kWh = $300 \times 3{,}6 \cdot 10^6 = 1{,}08 \cdot 10^9$ J (of 1,08 GJ)

VOORBEELDOPDRACHT 2

Volgens een autofabrikant is de maximale snelheid van zijn topmodel 255 km/h.
Hoeveel m/s is dat?

1 m/s = 3,6 km/h

255 km/h $= \dfrac{255}{3{,}6} = 71$ m/s

3 Werken met machten van 10

Bij het vak natuurkunde krijg je regelmatig te maken met getallen die erg groot of juist erg klein zijn. Er is een manier bedacht om dat soort getallen handig op te schrijven. Voor grote getallen gebruik je positieve machten van 10. Voor kleine getallen gebruik je negatieve machten van 10.

positieve machten
$10^1 = 10$
$10^2 = 10 \times 10 = 100$
$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$
enzovoort

negatieve machten
$10^{-1} = 1/10 = 0{,}1$
$10^{-2} = 1/10 \times 1/10 = 1/100 = 0{,}01$
$10^{-3} = 1/10 \times 1/10 \times 1/10 = 1/1000 = 0{,}001$
enzovoort

Als je dat wilt, kun je een macht van 10 vervangen door een voorvoegsel. In plaats van: “Het vermogen van de centrale is $4{,}75 \cdot 10^8$ W” kun je ook schrijven: “Het vermogen van de centrale is 475 MW.” Reken maar na:
$4{,}75 \cdot 10^8$ W = $475 \cdot 10^6$ W = 475 MW (M = 10^6)

VOORBEELDOPDRACHT
De kerncentrale in Gravelines (Frankrijk) heeft een elektrisch vermogen van 5460 MW. In de praktijk wordt maar 75% van dit vermogen ook echt geleverd. Gemiddeld is 25% van het vermogen niet beschikbaar, vooral vanwege onderhoud.
Bereken hoeveel kWh elektrische energie de kerncentrale in één jaar levert.

75% van 5460 MW = 4095 MW
P = 4095 MW = $4095 \cdot 10^6$ W = $4095 \cdot 10^3$ kW
$t = 365 \times 24 = 8760$ h

$E = P \cdot t$
$= 4095 \cdot 10^3 \times 8760$
$= 36 \cdot 10^9$ kWh

De centrale produceert elk jaar 36 miljard kWh elektrische energie.

tabel 2 Voorbeelden van machten van 10 uit de natuur.

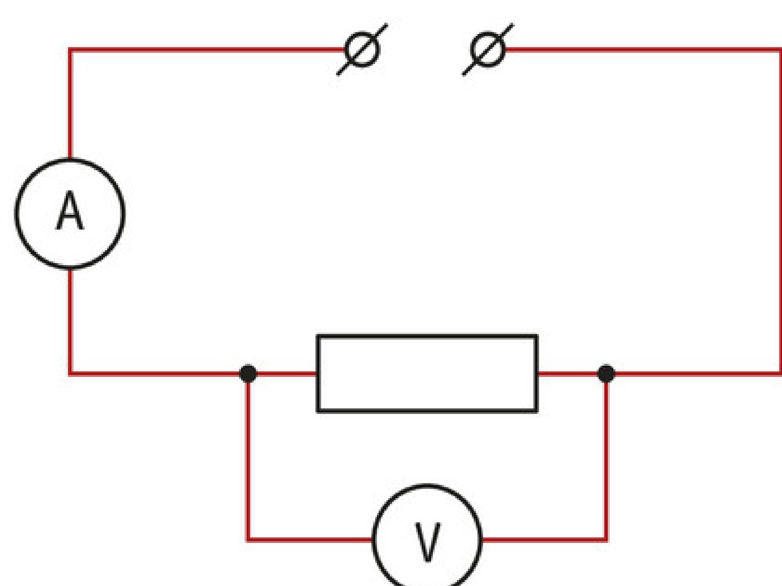
	lengte (m)	massa (kg)	tijd (s)
10^{-10}	diameter atoom		
10^{-9}			
10^{-8}	diameter kleinste virus		
10^{-7}		massa zandkorrel	
10^{-6}	diameter bacterie	massa regendruppel	
10^{-5}	diameter rode bloedcel		
10^{-4}	dikte papier	massa vlieg	duur bliksemflits
10^{-3}			
10^{-2}	dikte vinger	massa muis	
10^{-1}			reactietijd mens
10^{0}	lengte mens	massa pak suiker	tijd tussen twee hartslagen
10^{1}			record 100 m hardlopen
10^{2}	lengte supertanker	massa mens	
10^{3}		massa auto	één kwartier
10^{4}	maximale diepte oceaan		
10^{5}		massa jumbojet	één dag
10^{6}	diameter maan		
10^{7}	diameter aarde		één jaar
10^{8}	afstand aarde-maan	massa supertanker	
10^{9}			levensduur mens
10^{10}			
10^{11}	afstand zon-aarde		ouderdom piramides
10^{12}			moderne mens aanwezig op aarde

4 Werken met meetinstrumenten

Bij het vak natuurkunde werk je met allerlei meetinstrumenten. Om een goede meting uit te kunnen voeren, ga je stap voor stap te werk.

Stap 1 **Bepaal welk(e) meetinstrument(en) je nodig hebt.**
Bij een onderzoek wil je een vraag beantwoorden zoals:
Klopt het elektrisch vermogen dat op dit apparaat is vermeld?
Je weet dat je het elektrisch vermogen kunt bepalen met de formule $P = U \cdot I$. Dat betekent dat je de spanning (U) en de stroomsterkte (I) moet meten. Je hebt dus twee meetinstrumenten nodig: een spanningsmeter en een stroommeter.

Stap 2 **Sluit het meetinstrument aan.**
Stroom- en spanningsmeters moet je correct aansluiten: een stroommeter in serie met het apparaat, een spanningsmeter parallel (figuur 1).
Bij gelijkstroom en -spanning is ook de stroomrichting van belang. Je moet de pluskant van de meter verbinden met de pluspool van de spanningsbron en de minkant met de minpool. Meestal is de pluskant een rood busje en de minkant een zwart busje (figuur 2).



figuur 1 Zo sluit je een spanningsmeter en een stroommeter aan.



figuur 2 Hoe groot is de stroomsterkte?

Stap 3 **Kies het juiste meetbereik.**
Stroom- en spanningsmeters hebben vaak meer dan één meetbereik. De stroommeter in figuur 2 heeft bijvoorbeeld drie meetbereiken: 0 tot 5 A, 0 tot 0,5 A en 0 tot 0,05 A. Je kunt het meetbereik dat je moet gebruiken, als volgt vinden:

- Maak een proefmeting met het grootste meetbereik.
- Kijk hoe groot de stroomsterkte of de spanning ongeveer is.
- Kies het kleinste meetbereik waarbij je de meter nog kunt aflezen.
- Hoe kleiner het gebruikte meetbereik, des te nauwkeuriger is het meetresultaat.

Stap 4 **Lees het meetinstrument af.**

Veel meetinstrumenten hebben een schaalverdeling. Bij het aflezen van zo'n meetinstrument bepaal je eerst hoeveel elk streepje waard is. Daarna lees je zo nauwkeurig mogelijk de meetwaarde af.

Bij de stroommeter in figuur 2 redeneer je bijvoorbeeld als volgt:

- Ik heb het meetbereik van 0 tot 0,5 A gebruikt.
- Tussen 0,3 en 0,4 A zijn er tien tussenruimtes.
- Elk streepje is dus $\frac{0{,}1}{10}$ = 0,01 A waard.
- De wijzer staat op het zesde streepje.
- De stroomsterkte is dus 0,36 A.

5 Werken met formules

Bij het vak natuurkunde moet je regelmatig berekeningen maken. Ga daarbij stap voor stap te werk.

Stap 1 **Lees de opdracht.**
Lees de opdracht en schat hoe groot de uitkomst ongeveer zal zijn. In de voorbeeldopdracht wordt gevraagd hoelang een waterkoker erover doet om een kop water aan de kook te brengen. Je weet dat je dan enkele tientallen seconden tot een minuut moet wachten. Een paar seconden is duidelijk te weinig en vijf minuten is duidelijk te veel.

Stap 2 **Noteer de gegevens.**
Vertaal alle gegevens in letters en cijfers en noteer ze. Een gegeven zoals '44 kJ energie' noteer je bijvoorbeeld als: $E = 44\ \text{kJ} = 4{,}4 \cdot 10^4\ \text{J}$.

Stap 3 **Schrijf de formule(s) op.**
Sommige formules kun je op verschillende manieren opschrijven. Neem de vorm waarin de grootheid die je wilt berekenen voor het isgelijkteken staat. Je schrijft dus:

- $E = P \cdot t$ als je de hoeveelheid energie (E) wilt berekenen;
- $P = \frac{E}{t}$ als je het vermogen (P) wilt berekenen;
- $t = \frac{E}{P}$ als je de benodigde tijd (t) wilt berekenen.

Stap 4 **Vul de gegevens in.**

Stap 5 **Werk de berekening uit.**

Stap 6 **Noteer de uitkomst.**
De uitkomst is een getal gevolgd door een eenheid. De eenheid moet kloppen met de gegevens. Als je het vermogen invult in watt (W = J/s) en de tijd in seconden (s), dan vind je de hoeveelheid energie in joule (J). Zie ook de vaardigheid *Uitkomsten afronden*.

Stap 7 **Controleer de uitkomst.**
Vergelijk de uitkomst met de schatting die je in het begin maakte. Ga ook na of je geen reken- of overschrijffouten hebt gemaakt.

VOORBEELDOPDRACHT

Om het water voor een kop thee aan de kook te brengen, is 44 kJ warmte nodig. Hoelang doet een waterkoker van 1800 W erover om deze hoeveelheid energie te leveren?

gegevens $E = 44\ \text{kJ} = 4{,}4 \cdot 10^4\ \text{J}$
$P = 1800\ \text{W}$

gevraagd $t = ?$

uitwerking $t = \frac{E}{P} = \frac{4{,}4 \cdot 10^4}{1800} = 24\ \text{s}$

6 Formules herschrijven

Bij het vak natuurkunde gebruik je vaak formules. Zo'n formule kun je op verschillende manieren opschrijven. Soms is de ene vorm handiger, soms de andere. Dat wil niet zeggen dat je al die verschillende vormen moet onthouden. Als je één vorm onthoudt, dan kun je de andere vormen daar snel uit afleiden. Dat noem je de formule herschrijven.

Voor het herschrijven van formules kun je twee wiskundige methoden gebruiken: kruislings vermenigvuldigen en de balansmethode. Neem bijvoorbeeld de formule: $v = \frac{s}{t}$

Stel dat je met deze formule de tijd t wilt berekenen, dan kun je de formule als volgt herschrijven:

Methode 1: Kruislings vermenigvuldigen
Hiervoor schrijf je eerst beide kanten als breuk: $v = \frac{s}{t} \rightarrow \frac{v}{1} = \frac{s}{t}$, want $\frac{v}{1} = v$

Vermenigvuldig kruislings:
$\frac{v}{1} = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = s \cdot 1 \rightarrow v \cdot t = s$

Deel nu beide kanten door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

Vereenvoudig de uitkomst: $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v} \rightarrow t = \frac{s}{v}$, want $\frac{v}{v} = 1$

Methode 2: De balansmethode

Hierbij doe je aan beide zijden van het isgelijkteken steeds hetzelfde. Het isgelijkteken betekent namelijk dat aan beide zijden dezelfde waarde staat, bijvoorbeeld: 3 = 3, of $\frac{6}{2} = \frac{3}{1}$ of $v = \frac{s}{t}$

Je mag beide zijden met hetzelfde getal vermenigvuldigen. De waarden aan beide zijden van het isgelijkteken veranderen, maar zijn nog steeds aan elkaar gelijk, bijvoorbeeld: $\frac{6 \cdot a}{2} = \frac{3 \cdot a}{1} \rightarrow 3 \cdot a = 3 \cdot a$

Hetzelfde geldt voor beide zijden delen door hetzelfde getal.

Vermenigvuldig nu in $v = \frac{s}{t}$ beide zijden met t: $v = \frac{s}{t} \rightarrow v \cdot t = \frac{s \cdot t}{t}$

Schrijf $v \cdot t = \frac{s \cdot t}{t}$ als $v \cdot t = s$, want: $\frac{t}{t} = 1$

Deel beide zijden door v: $v \cdot t = s \rightarrow \frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$

Schrijf $\frac{v \cdot t}{v} = \frac{s}{v}$ als $t = \frac{s}{v}$, want: $\frac{v}{v} = 1$

7 Uitkomsten afronden

De uitkomst van een berekening kan niet nauwkeuriger zijn dan de gegevens die je hebt gebruikt. Daarom moet je de uitkomsten van berekeningen vaak afronden. Anders lijkt het alsof de uitkomst heel nauwkeurig is, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is.

In de voorbeeldopdracht is de spanning 134 mV en de stroomsterkte 1,9 mA. Je zegt dat de spanning in drie significante cijfers is gegeven, en de stroomsterkte in twee significante cijfers. Dat betekent dat de stroomsterkte het minst nauwkeurige gegeven is. Daar moet je bij het afronden rekening mee houden.

Je kunt voor het afronden deze eenvoudige vuistregel gebruiken:

De uitkomst krijgt evenveel significante cijfers als het minst nauwkeurige gegeven.

Maar als de uitkomst één significant cijfer meer heeft, wordt dat ook goed gerekend.

Bij het tellen van het aantal significante cijfers moet je speciaal op de nullen letten:
- Nullen aan het begin van een getal tellen niet mee als je het aantal significante cijfers bepaalt: 25 cm heeft evenveel significante cijfers als 0,25 m. De nul aan het begin zegt alleen iets over de grootte van het getal en niets over de nauwkeurigheid. Hij is niet significant.
- Nullen middenin of aan het einde van het getal tellen wel mee voor het aantal significante cijfers. Als je lengte wordt gegeven als 1,80 meter, dan maakt die nul duidelijk dat je lengte is gemeten tot op 1 cm nauwkeurig. Deze nul zegt dus wél iets over de nauwkeurigheid.
- Nog enkele voorbeelden:
  - 2,0 heeft twee significante cijfers en 0,2 heeft maar één significant cijfer;
  - 0,22 en 0,022 hebben allebei twee significante cijfers;
  - 2,02 heeft drie significante cijfers.

Om correct af te ronden kijk je naar het eerste cijfer dat je moet schrappen. Als dat een 5 of meer is, moet je naar boven afronden. Dat betekent dat je het cijfer daarvóór met 1 moet verhogen. Is het cijfer dat je schrapt een 4 of lager, dan hoef je het cijfer daarvoor niet te verhogen.

Als je het antwoord in drie cijfers moet geven:
- rond je 2,345 af op 2,35;
- rond je 2,354 ook af op 2,35;
- rond je 2,395 af op 2,40;
- rond je 2,404 ook af op 2,40;
- enzovoort.

VOORBEELDOPDRACHT

Als er een spanning van 134 mV over een weerstand staat, is de stroomsterkte 1,9 mA. Bereken de weerstand.

gegevens U = 134 mV = 0,134 V
I = 1,9 mA = 0,0019 A

gevraagd R = ?

uitwerking $R = \frac{U}{I} = \frac{0{,}134}{0{,}0019} = 71\ \Omega$

Toelichting

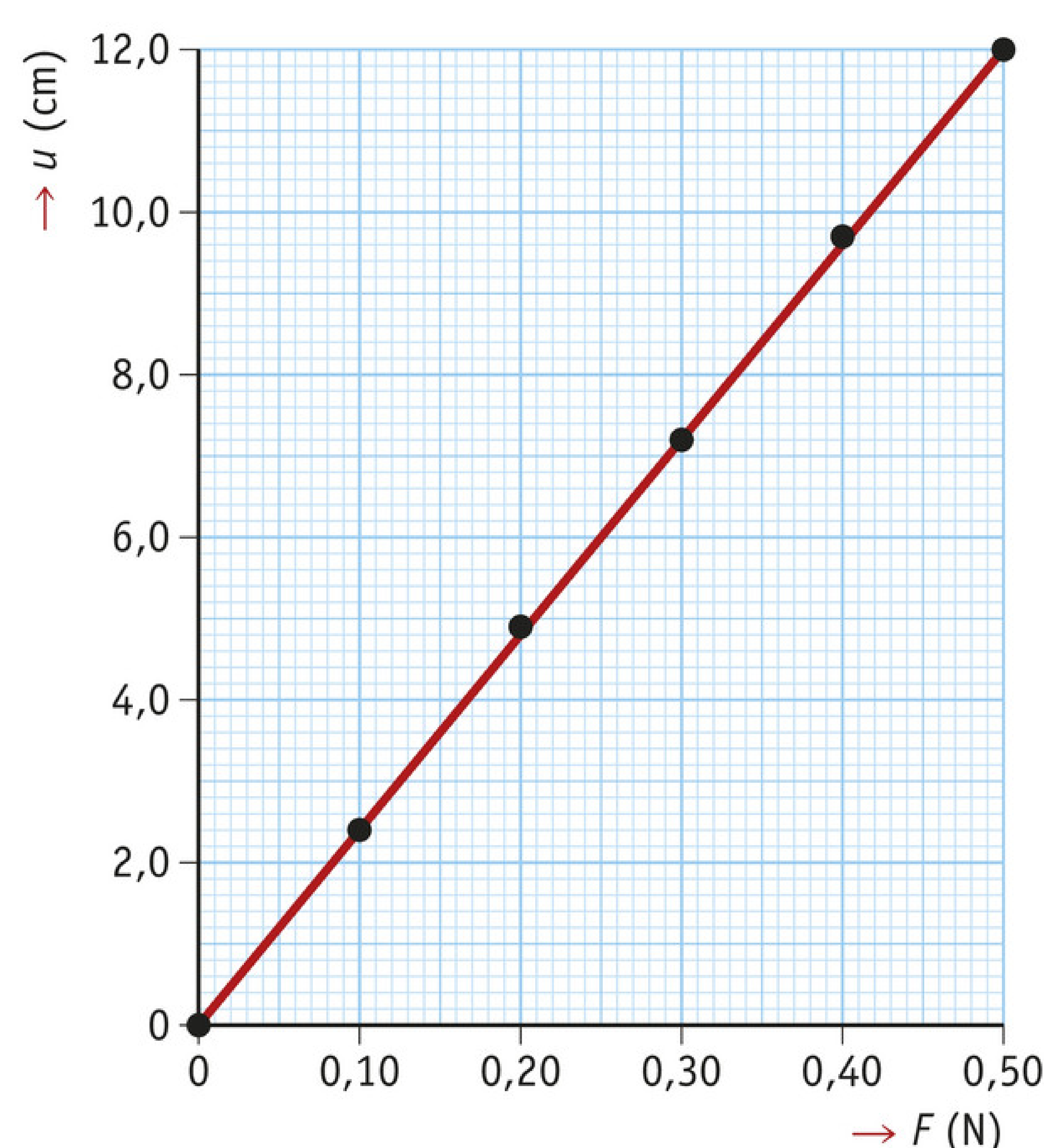
Als je de berekening op een rekenmachine uitvoert, krijg je als uitkomst 70,526 316. Het gegeven I = 1,9 mA heeft het kleinste aantal significante cijfers: twee. Je geeft het antwoord daarom ook in twee significante cijfers. Dus schrap je alle getallen na 70. Omdat het eerste cijfer dat je schrapt een 5 is, verhoog je de 0 daarvoor met 1. De correct afgeronde uitkomst is dus 71 Ω.

8 Werken met tabellen en grafieken

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Deze vraag gaat over het verband tussen de kracht en de uitrekking.

Om deze vraag te beantwoorden, voer je een serie metingen uit. Je hangt gewichtjes aan de veer en meet elke keer hoe ver de veer daardoor uitrekt. De meetresultaten noteer je in een tabel. Na afloop geef je de meetresultaten in de tabel in een grafiek weer.

Zo'n grafiek maak je als volgt:



figuur 3 Een grafiek van de uitrekking tegen de kracht.

Stap 1 **Teken een assenstelsel.**

Stap 2 **Zet bij elke as een grootheid, met de bijbehorende eenheid.**
Bijvoorbeeld: → *F* (N) en → *u* (cm).

Stap 3 **Zet langs beide assen een geschikte schaalverdeling.**
Zorg ervoor dat de grootste getallen er nog op passen.

Stap 4 **Teken de meetresultaten in als punten.**

Stap 5 **Teken de lijnen in.**
Teken een rechte lijn als de punten (ongeveer) op een rechte lijn liggen. Teken een vloeiende kromme als dat niet zo is. Laat die lijn of kromme zo goed mogelijk bij de punten aansluiten, maar verbind de punten nooit één voor één met elkaar. Het geeft niet dat de rechte lijn of de kromme niet precies door alle meetpunten loopt.

9 Verbanden meten

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?
Bij deze vraag zijn de grootheden de kracht (op de veer) en de uitrekking (van de veer).

Hoe meet je nu zo'n verband? Een paar aanwijzingen:

Stap 1 **Maak eerst een tabel waarin je de meetresultaten kunt noteren.**
Noteer links de kracht en rechts de uitrekking.

Stap 2 **Kies voor de grootheid in de linkerkolom een stapgrootte van ronde getallen.**
Bijvoorbeeld de volgende waarden van de kracht (in N):
0 0,1 0,2 0,3 0,4 enzovoort.
Dat maakt het gemakkelijker om straks een grafiek te tekenen.

Stap 3 **Noteer de meetwaarden in de tabel: links de kracht (in N), rechts de uitrekking (in cm).**

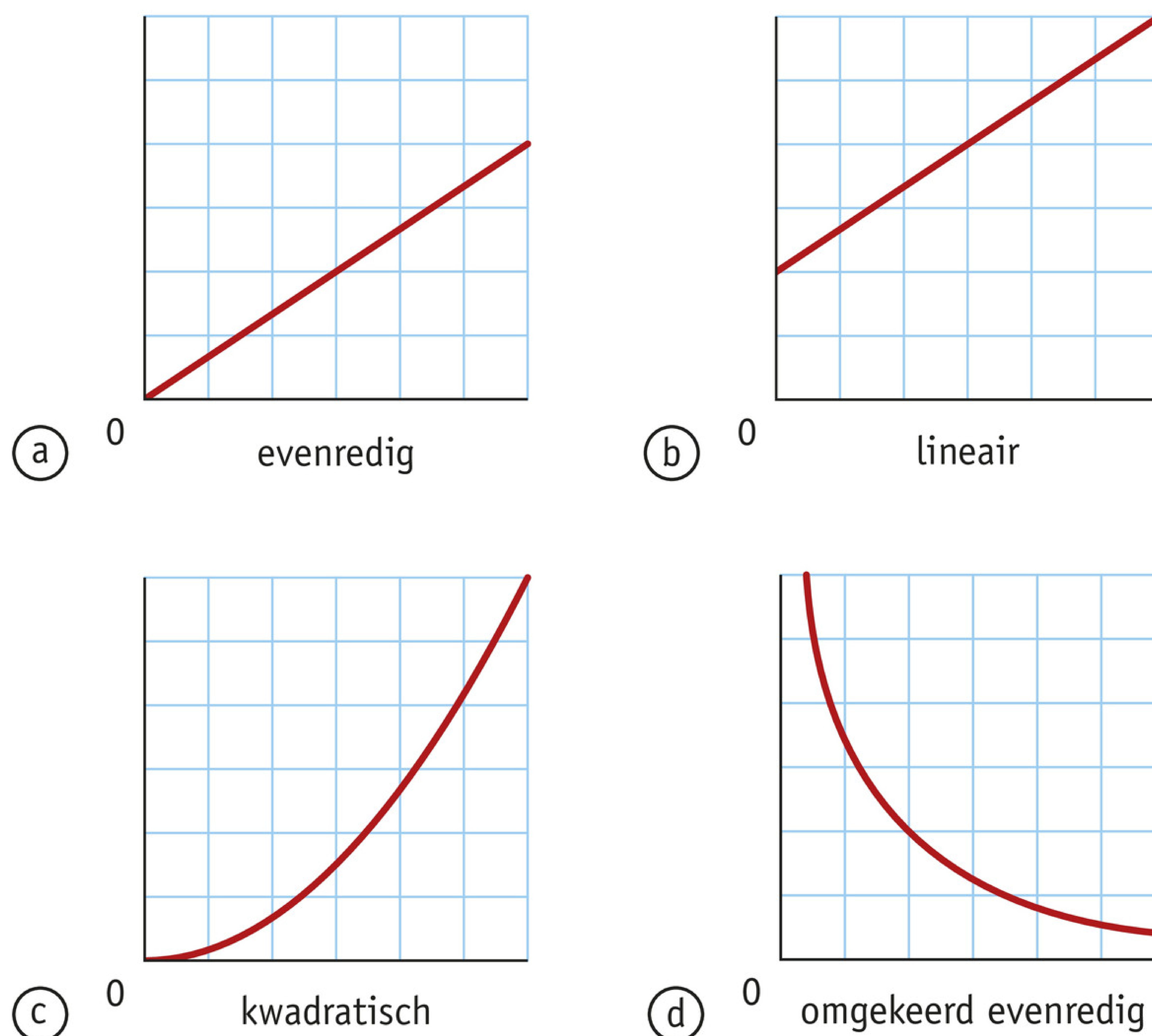
Stap 4 **Verwerk je metingen tot een grafiek.**
In de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken* kun je lezen hoe dat moet. Zet de kracht langs de horizontale as en de uitrekking langs de verticale as.

Stap 5 **Vergelijk jouw grafiek met figuur 4.**

Daarin zie je hoe een grafiek eruitziet:

a als het verband evenredig is;
b als het verband lineair is;
c als het verband kwadratisch is;
d als het verband omgekeerd evenredig is.

figuur 4 Vier soorten verbanden.



Het (u,F)-diagram van een spiraalveer is een rechte lijn door de oorsprong (figuur 3 in de vaardigheid *Werken met tabellen en grafieken*). Daaraan zie je dat het verband tussen de uitrekking en de kracht bij een spiraalveer evenredig is.

10 Een verslag schrijven

Bij een onderzoek hoort een verslag. In dat verslag leg je uit hoe het onderzoek is verlopen. Iemand die er niet bij is geweest, moet precies kunnen begrijpen wat er allemaal is gebeurd.

Deel je verslag als volgt in:

Titelpagina
Hierop vermeld je de titel van het onderzoek, de namen van de leerlingen in je onderzoeksgroep, de naam van je docent, de datum en het jaartal.

§ 1 Onderzoeksvraag
In deze paragraaf leg je uit welke vraag je met je onderzoek wilt beantwoorden.

§ 2 Werkplan
Hierin staat:
- welke grootheden je hebt gemeten;
- welke practicumspullen je hebt gebruikt;
- wat voor opstelling je hebt gemaakt (maak een tekening of een foto);
- wat je precies hebt gedaan:
  - Welke metingen heb je uitgevoerd?
  - Hoe heb je de meetresultaten verwerkt (tekenen/berekenen)?
  - Welke berekeningen heb je uitgevoerd (inclusief formules)?

§ 3 Onderzoeksresultaten
Hierin vermeld je wat je hebt waargenomen of gemeten: in de vorm van tekst, tabellen, grafieken, foto's en dergelijke.

§ 4 Conclusies
Hierin staat het antwoord op de onderzoeksvraag. Ook schrijf je op wat er beter had gekund.

Een verslag hoort er goed uit te zien. Het gaat niet alleen om de inhoud van je verslag. Je moet de inhoud ook duidelijk en overzichtelijk presenteren. Een aantal aanwijzingen:
- Gebruik papier op A4-formaat.
- Zorg ervoor dat er ruime marges overblijven: onder en boven, links en rechts.
- Kies een goed leesbaar lettertype, met een goede lettergrootte.
- Zet een vet kopje boven elke paragraaf. Sla daarna een regel over.
- Zorg voor nette tekeningen, tabellen en grafieken. Zet er een nummer bij zodat je ernaar kunt verwijzen.

Leerdoelen en taxonomie

1 ELEKTRICITEIT

WAT WEET JE AL OVER ELEKTRICITEIT?

LEERDOELEN

1 Je kunt uitleggen wat spanning en stroomsterkte zijn en hoe je deze grootheden meet.
2 Je kunt uitleggen wat de frequentie van een trilling is.
3 Je kunt het verschil tussen een parallelschakeling en een serieschakeling uitleggen.
4 Je kunt rekenen met de eenheden van stroomsterkte en spanning.
5 Je kunt uitleggen welke stoffen geleiders en isolatoren zijn en daarvan een aantal voorbeelden geven.
6 Je kent de symbolen die je gebruikt om een schakelschema te maken.
7 Je kunt het vermogen van een apparaat berekenen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN						
	1	2	3	4	5	6	7
Onthouden	1, 2, 5		4	3	6		
Begrijpen							
Toepassen							
Analyseren							

1.1 ELEKTRISCHE ENERGIE VERVOEREN

LEERDOELEN

1.1.1 Je kunt de onderdelen van een elektriciteitscentrale beschrijven.
1.1.2 Je kunt de kenmerken van gelijkspanning en wisselspanning met elkaar vergelijken.
1.1.3 Je kunt uitleggen waarom in het elektriciteitsnet verschillende spanningen worden gebruikt.
1.1.4 Je kunt het principe van een transformator uitleggen.
1.1.5 Je kunt aan de hand van de verhouding van het aantal windingen de spanningsverhoging of spanningsverlaging in een transformator berekenen.
PLUS 1.1.6 Je kunt de werking van een ideale transformator uitleggen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.1.4	1.1.5	1.1.6
Onthouden	1a, 2a t/m d	1c	1b	3a	1d	11a
Begrijpen			4	3b, 8c, 9ab	7a t/m d, 8a	
Toepassen					5, 6, 8b, 9c	10abc, 11bc
Analyseren						11d

1.2 VERMOGEN EN ENERGIE

LEERDOELEN

1.2.1 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen vermogen, spanning en stroomsterkte.
1.2.2 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen energie, vermogen en tijd.
1.2.3 Je kunt de eenheden joule en kilowattuur naar elkaar omrekenen.
PLUS 1.2.4 Je kunt berekeningen maken met de grootheden die belangrijk zijn bij de opslag van energie in batterijen: energiedichtheid, vermogen, spanning, stroomsterkte en energie.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.2.4
Onthouden	1a, 2a	1c, 2b	1d	11a
Begrijpen		1b		
Toepassen	3abc, 4a, 5ab	6ab, 7, 8ab, 9b	9a	10a
Analyseren	4bc	5c, 6c, 9c		10b, 11b

1.3 ELEKTRICITEIT IN HUIS

LEERDOELEN

1.3.1 Je kunt de totale stroomsterkte in een groep berekenen.
1.3.2 Je kunt het totale vermogen berekenen dat op een groep is aangesloten.
1.3.3 Je kunt berekenen of in een groep overbelasting optreedt.
1.3.4 Je kunt uitleggen wat wordt bedoeld met overbelasting en kortsluiting.
1.3.5 Je kunt de functie benoemen van de verschillende kleuren elektriciteitsdraden.
PLUS 1.3.6 Je kunt uitleggen welke factoren een rol spelen bij de overbelasting.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	1.3.1	1.3.2	1.3.3	1.3.4	1.3.5	1.3.6
Onthouden	1ac			1de	2abc, 5ab	11a
Begrijpen	4ab, 9ab		3ab, 6b	8b	1b, 5d	10a
Toepassen	6a, 7, 8a				4c	10bc, 11c
Analyseren	9c			8c	5ce	11b

1.4 ELEKTRICITEIT EN VEILIGHEID

LEERDOELEN

1.4.1 Je kunt uitleggen wat de gevaren van elektriciteit zijn.
1.4.2 Je kunt uitleggen wanneer een apparaat dubbel geïsoleerd moet zijn.
1.4.3 Je kunt uitleggen wat de functie van groepszekeringen en installatieautomaten is.
1.4.4 Je kunt de functie van een aardlekschakelaar uitleggen.
1.4.5 Je kunt de functie van randaarde beschrijven.
PLUS 1.4.6 Je kunt de natuurkundige principes uitleggen die een rol spelen bij de werking van een aardlekschakelaar.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	1.4.1	1.4.2	1.4.3	1.4.4	1.4.5	1.4.6	onder-bouw*
Onthouden		2c	1a, 2a	2b	3ab		
Begrijpen	4abc, 11b	8b	5abc, 6d, 7ac	1b, 2d, 7b, 9b	8a, 9c	12c, 13a	11c
Toepassen	9a, 10ab					12ab, 13b	
Analyseren	11a		6abc				

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

2 KRACHTEN

WAT WEET JE AL OVER KRACHTEN?

LEERDOELEN

1 Je kunt uitleggen hoe de snelheid verandert bij een eenparige, versnelde en vertraagde beweging.
2 Je kunt de massa van een hoeveelheid stof bepalen en weergeven in kg of g.
3 Je kunt het verschil tussen massa en gewicht uitleggen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	1	2	3
Onthouden	1, 2	3	
Begrijpen			4
Toepassen			
Analyseren			

2.1 SOORTEN KRACHTEN

LEERDOELEN

2.1.1 Je kunt beschrijven wat de gevolgen zijn als een kracht op een voorwerp werkt.
2.1.2 Je kunt verschillende soorten krachten beschrijven.
2.1.3 Je kunt de grootte van een kracht meten.
2.1.4 Je kunt de zwaartekracht op een massa berekenen.
2.1.5 Je kunt een kracht tekenen door gebruik te maken van de krachtenschaal.
PLUS 2.1.6 Je kunt uitleggen wat het zwaartepunt van een voorwerp is.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	2.1.1	2.1.2	2.1.3	2.1.4	2.1.5	2.1.6
Onthouden	1ab				1d, 2abc	
Begrijpen	3abc, 5ab	4a t/m d			10abc, 11ab	
Toepassen				1c, 8a t/m d, 9a	6a t/m d, 7ab, 9b, 11cd	
Analyseren						

2.2 MEER DAN ÉÉN KRACHT

LEERDOELEN

2.2.1 Je kunt de symbolen van krachten benoemen.
2.2.2 Je kunt beredeneren hoe groot de krachten in een situatie van evenwicht zijn.
2.2.3 Je kunt de veerconstante van een veer bepalen.
2.2.4 Je kunt de resulterende kracht berekenen van krachten die in dezelfde lijn liggen.
PLUS 2.2.5 Je kunt met de parallellogrammethode de resulterende kracht bepalen van twee krachten die niet in dezelfde lijn liggen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	2.2.1	2.2.2	2.2.3	2.2.4	2.2.5
Onthouden	1a		1cd, 2		
Begrijpen		3a, 9ab	1b, 5a		10b, 11ac
Toepassen		3b, 8ab	4abc, 5b, 6	7ab	10a, 11b
Analyseren		8cd, 9c	5c		

2.3 HEFBOMEN

LEERDOELEN

2.3.1 Je kunt het principe van een hefboom uitleggen.
2.3.2 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen moment, kracht en arm.
2.3.3 Je kunt de arm van een kracht meten.
2.3.4. Je kunt rekenen met de momentenwet.
PLUS 2.3.5 Je kunt de momentenwet toepassen bij de hefboomwerking in je onderarm.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	2.3.1	2.3.2	2.3.3	2.3.4	2.3.5
Onthouden	1ad	2	1c		
Begrijpen	3c	1b, 5b			8a, 9a
Toepassen		3a, 4abd,	7a, 8d, 9	7b, 8a	11a
Analyseren	6, 7ab	3b, 5a	4c	8bcd, 9d	12ab
					9bc

2.4 WERKTUIGEN

LEERDOELEN

2.4.1 Je kunt verschillende soorten hefbomen onderscheiden.
2.4.2 Je kunt hefbomen in werktuigen herkennen.
2.4.3 Je kunt bij werktuigen rekenen met de momentenwet.
PLUS 2.4.4 Je kunt de momentenwet toepassen bij de momentsleutel.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	2.4.1	2.4.2	2.4.3	2.4.4
Onthouden	2abc	1c	1a	
Begrijpen	3a	6a	1b, 3d, 6b	11a
Toepassen		9ab, 10abc	3bc, 4, 5, 7, 10de	11b, 12ac
Analyseren		8, 9c		12b

3 ENERGIE

WAT WEET JE AL OVER ENERGIE?

LEERDOELEN

1 Je kunt uitleggen wat de celsiusschaal en het meetbereik van een thermometer zijn.
2 Je kunt eenheden van energie omrekenen.
3 Je kunt uitleggen waarom lucht een warmte-isolator is.
4 Je kunt uitleggen waarom een apparaat met een groter vermogen meer elektrische energie verbruikt.
5 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen vermogen, spanning en stroomsterkte.
6 Je kunt de elektrische energie berekenen die in een bepaalde tijd is omgezet.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	1	2	3	4	5	6
Onthouden	2	3	4			
Begrijpen	1					
Toepassen				6	5	
Analyseren						

3.1 ENERGIEBRONNEN

LEERDOELEN

3.1.1 Je kunt uitleggen wat een energiebron is.
3.1.2 Je kunt zes energiebronnen beschrijven.
3.1.3 Je kunt kenmerken van energiebronnen benoemen.
3.1.4 Je kunt de ideale energiebron beschrijven.
3.1.5 Je kunt vier kenmerken van de energietransitie benoemen.
PLUS 3.1.6 Je kunt de zwaarte-energie berekenen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	3.1.1	3.1.2	3.1.3	3.1.4	3.1.5	3.1.6
Onthouden	1d	1ab	2	1e	1c, 7a	
Begrijpen			3a t/m d, 4a, 5a			9abd
Toepassen					6, 7b	9c, 10abc
Analyseren			4bcd, 5bcd, 8			

3.2 VERWARMEN

LEERDOELEN

3.2.1 Je kunt energieomzettingen weergeven in een energiestroomdiagram waarbij de hoeveelheid energie voor en na de omzetting niet verandert.
3.2.2 Je kunt uitleggen dat de toevoer van warmte leidt tot een hogere temperatuur.
3.2.3 Je kunt door de soortelijke warmte te gebruiken berekenen hoeveel energie nodig is om een stof in temperatuur te laten stijgen.
PLUS 3.2.4 Je kunt het deeltjesmodel toepassen bij het verklaren van verdamping en condensatie.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	3.2.1	3.2.2	3.2.3	3.2.4
Onthouden	3a	1abc	1d, 2a t/m d	
Begrijpen		3b	7a	9a t/m d, 10d
Toepassen		4ab	6ab, 7b, 8	10abc
Analyseren			5, 6c	

3.3 ISOLEREN

LEERDOELEN

3.3.1 Je kunt uitleggen op welke manieren een huis warmte verliest.
3.3.2 Je kunt uitleggen hoe je het warmteverlies in een huis kunt verkleinen.
3.3.3 Je kunt manieren van isolatie van een gebouw benoemen.
3.3.4 Je kunt berekeningen over isolatie van gebouwen maken.
PLUS 3.3.5 Je kunt de warmtestroom door (geïsoleerde) muren berekenen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	3.3.1	3.3.2	3.3.3	3.3.4	3.3.5
Onthouden	1abc, 4	2, 3	1d	6ab	
Begrijpen			8ab	6f	9a t/m e
Toepassen				6cde, 7abc	10a t/m d
Analyseren			5		

3.4 RENDEMENT

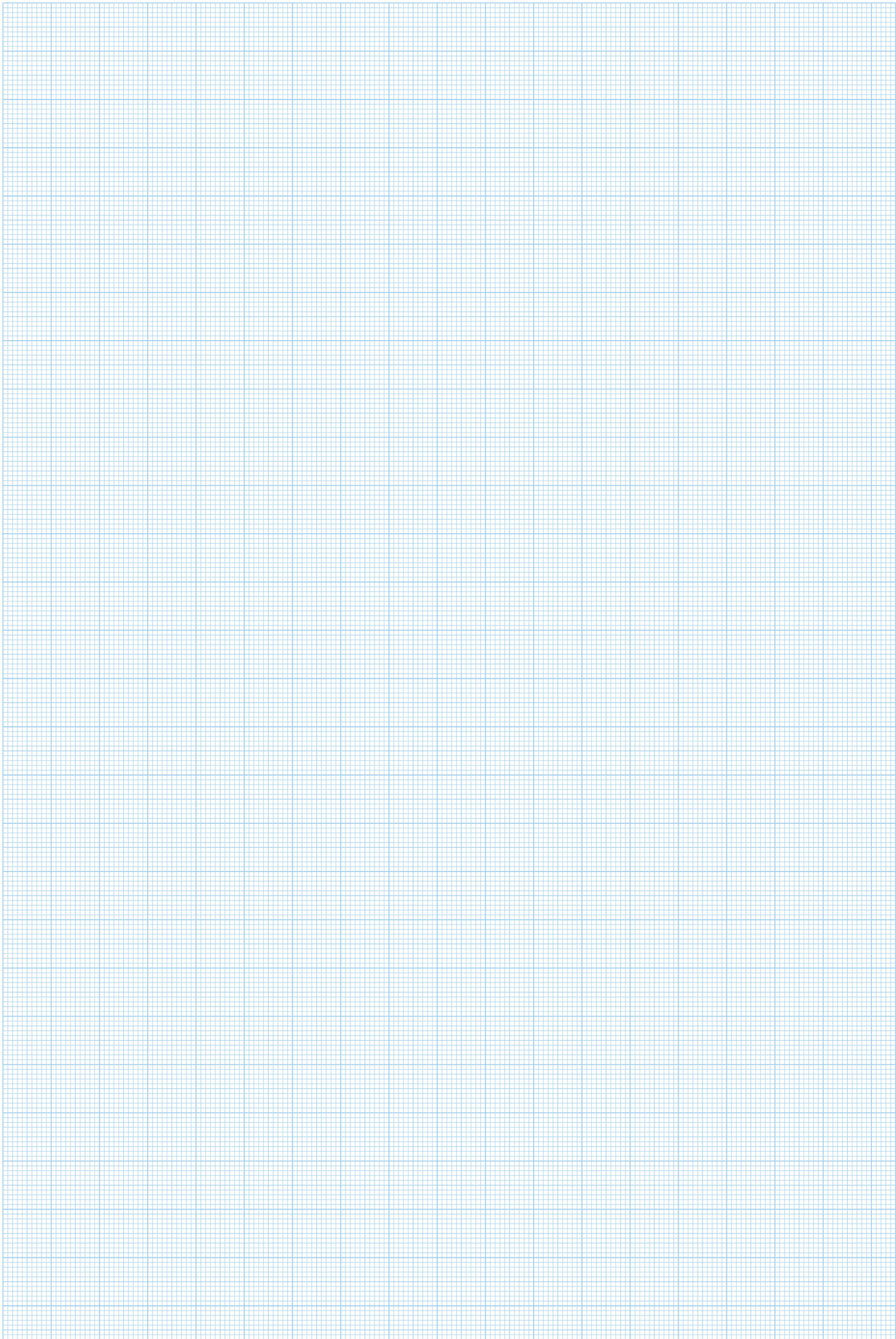
LEERDOELEN

3.4.1 Je kunt duurzaam energieverbruik uitleggen aan de hand van een energiestroomdiagram.
3.4.2 Je kunt het rendement berekenen op basis van energie.
3.4.3 Je kunt het rendement berekenen op basis van vermogen.
PLUS 3.4.4 Je kunt de energiebesparing door het gebruik van industriële restwarmte uitleggen en toelichten met berekeningen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN						
	3.4.1	3.4.2	3.4.3	3.4.4	3.1.3*	3.2.3*	onder-bouw*
Onthouden		1bc, 2abc, 4c		1d, 10b	4ab		
Begrijpen		4d, 9ab	6bc, 9c	10a			1a
Toepassen		3ab, 5abc, 7c, 8a	6ad	7a, 10c, 11abc		7b	
Analyseren		8b					

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.





Register

Achter elk begrip staat de pagina waarop het begrip in de leertekst wordt uitgelegd en de pagina waarop het begrip in het Leerstofoverzicht staat. Begrippen die in de plus-stof staan, staan enkel in de leertekst.

Colofon

ONTWERP BINNENWERK

Pointer grafische vormgeving
Crius Group

ONTWERP OMSLAG

Studio Struis

UITVOERING BINNENWERK

Crius Group

AUTEURS

Louis Lenders
Sander Michon, michon educatie
François Molin
Rein Tromp

EINDREDACTIE

Claud Biemans, frontlinie.nl

TECHNISCH TEKENWERK

Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam; Erik Eshuis, Groningen; Zanzara Illustrations, Gorleston

BEELDRESEARCH

B en U International Picture Service, Amsterdam

BEELDVERANTWOORDING

Aaron Amat / Shutterstock: pag. 69 (l); ABB Group: pag. 41 (m), 53 (o), 54; Alberto Garcia Guillen / Shutterstock: pag. 23 (o); Aldo Murillo / Getty Images: pag. 84; Alexander Wekkeli (ISE) / Fraunhofer ISE: pag. 149 (b); Anton Starikov / 123RF: pag. 36 (o); Calvé/Unilever: pag. 22 (b); Canetti / iStockphoto: pag. 138; Dafinchi / Shutterstock: pag. 39; Daniel Gale / Dreamstime: pag. 21; Didacus Odhiambo / Integrated Solar Cooking Project: pag. 124; Don Mason/ Blend Images LLC /Getty Images / Tetra images RF: pag. 60/61; Erik Eshuis Infographics, Groningen: pag. 28, 33, 36 (b), 45 (b), 72 (o), 108 (o/l), 116, 120, 121, 125, 127, 128 (o), 129 (b), 129 (o), 131, 132, 133, 134 (b), 137 (o), 139 (b), 141 (b), 143, 144, 146, 149 (o), 150, 153, 155; Firma V / Shutterstock: pag. 15; Flip Franssen / Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 148; Flir Systems, Wilsonville, VS: pag. 137 (b); Ian Hodgson / Reuters / ANP Foto, Den Haag: pag. 64; IsoBouw Systems BV, Someren pag. 141 (o); Jeff Hinds / Shutterstock: pag. 69 (m); Liam West / Lightly Salted / Tesla: pag. 160 (m); Malp / 123RF: pag. 159; Marcus Hofmann / Shutterstock: pag. 41 (b); Mark Bowden / iStockphoto: pag. 23 (b); Maxim Ibragimov / Shutterstock: pag. 134 (o); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam pag. 16, 45 (o), 49, 128 (b); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam/Bosch Nederland: pag. (o/l); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam / Braun / Oral B: pag. (o/r); Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam / Iakov Filimonov / Shutterstock: pag. 19; Michiel Wijnbergh / Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 119; Mike Bogemans / Rijkswaterstaat: pag. 11 (o); Mischa Keijser / Getty Images / Cultura RF: pag. 114/115; NGK EUROPE GMBH, Kronberg im Taunus, Germany: pag. 160 (b); Olaf Krüger / ImageBroker / Imageselect, Wassenaar: pag. 68 (o); Ossip Architectuur Fotografie, Rotterdam: pag. 108 (b); Papichev Aleksandr / 123RF: pag. 161 (o); Pedrosala / Shutterstock: pag. 52; Peepy / Shutterstock: pag. 161 (b); Peter J. Segaar / www.polderpv.nl: pag. 145; Pixabay GmbH, München, Germany: pag. 142; RapidEye / iStock-photo: pag. 99 (b/r); Rob Engelaar / Hollandse Hoogte, Den Haag: pag. 22 (o); Rob Kints / Nationale Beeldbank, Den Haag: pag. 108 (o/r); Ron Zoeteweij / Nationale Beeldbank, Den Haag: pag. 107; Rudmer Zwerver / Shutterstock: pag. 118; Ruud Morijn / Dreamstime: pag. 12 (m/l); Ruud Morijn / Nationale Beeldbank, Den Haag: pag. 10; Sean Pavone / Shutterstock: pag. 151; Shutterstock, Amsterdam: pag. 69 (r): Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam: pag. 8, 9, 12 (o), 13, 17, 18, 25 (b), 26, 29, 35, 37, 41 (o), 43, 51, 62, 65 (o), 66, 67, 68 (b), 70, 71, 72 (b), 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 109, 136, 147; Sopotnicki / Shutterstock: pag. 6/7; stockphoto-graf / Shutterstock: pag. 99 (b/l); Stroomversnelling, Utrecht: pag. 139 (o); Titov Dmitriy / Shutterstock: pag. 92; Tombow Pen & Pencil / www.tomboweurope.com: pag. 65 (b); Vincent Jannink / ANP Foto, Den Haag: pag. 53 (b); Yellow Jacket: pag. 95; Zanzara Illustrations, Gorleston: pag. 11 (b), 12 (m/r), 20, 31, 32, 34, 40 (o), 42, 47, 103, 105

OMSLAG

Altrendo Images/Hollandse Hoogte

ISBN 978 94 020 7312 6
Release 5.1, eerste oplage

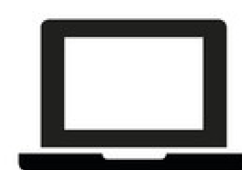
MALMBERG



Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.



Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.



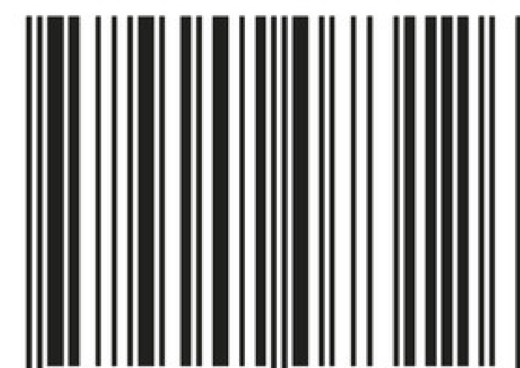
Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

AUTEURS
Louis Lenders
Sander Michon
François Molin
Rein Tromp

EINDREDACTIE
Claud Biemans

Release 5.1

ISBN 978 94 020 7312 6



598791-01

MALMBERG